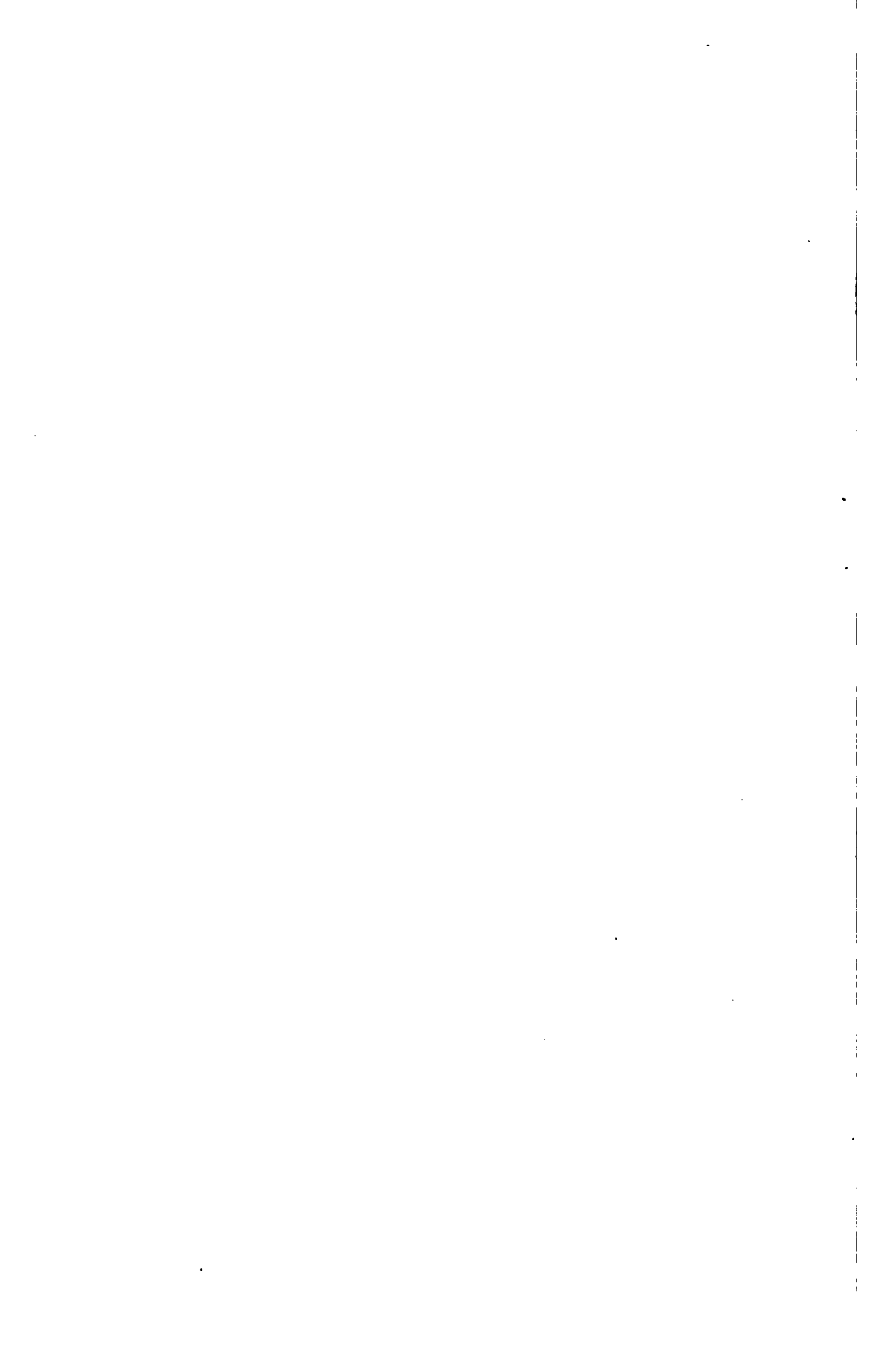



SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
VE RI TAS
CHRISTO ET ECCLESIAE



Die

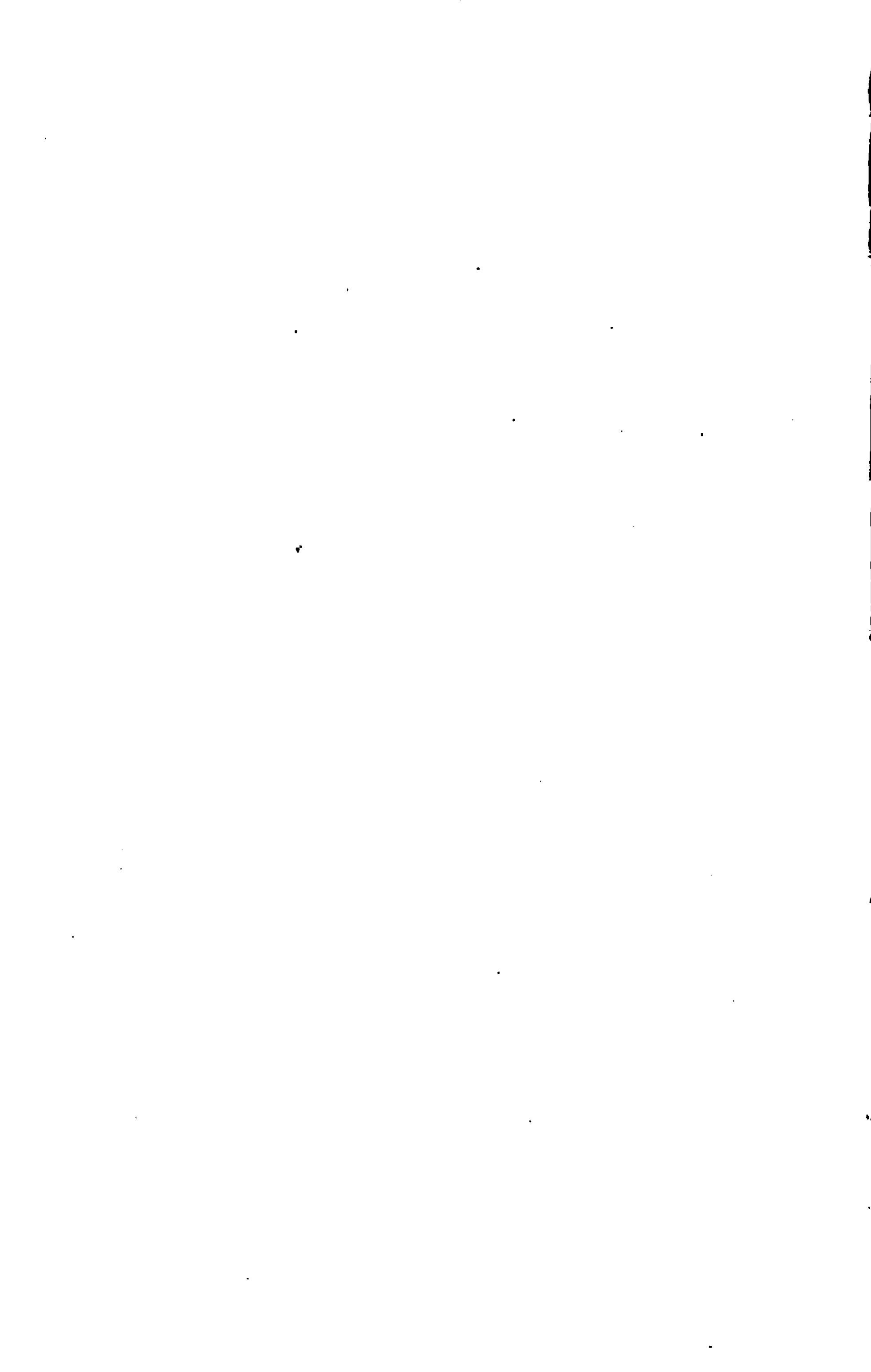
chemische Technologie

der

Brennstoffe.

I.

Chemischer Theil.



Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Handbuch

der

chemischen Technologie.

In Verbindung

mit

mehren Gelehrten und Technikern bearbeitet,

und herausgegeben

von

Dr. P. Bolley,

weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnicum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt

von

Dr. K. Birnbaum,

Hofrath und Professor der Chemie am Polytechnicum in Karlsruhe.

Acht Bände,

die meisten in mehre Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie der Brennstoffe.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1880.

Die

chemische Technologie

der

Brennstoffe.

Von

Dr. Ferdinand Fischer,
Professor in Göttingen.

I.

Chemischer Theil.

Mit in den Text eingedruckten Abbildungen.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1897.

Vorwort.

Die brennenden Holzscheite auf dem offenen Herde unserer Vorfahren bilden den Ausgangspunkt alles Culturlebens. Erst später wurde an einzelnen Orten Torf mit verwendet, dann auch Mineralkohlen. Einen ganz gewaltigen Aufschwung nahm die Verwendung der Kohlen in den letzten 50 Jahren. Während Deutschland i. J. 1848 nur 4 Millionen Tonnen Steinkohlen förderte, wurden 1895 80 Millionen Tonnen Steinkohlen und 25 Millionen Tonnen Braunkohlen gefördert, im Gesammtwerthe von 600 Millionen Mark.

Vorliegender erster Theil der chemischen Technologie der Brennstoffe bringt zunächst eine möglichst vollständige Zusammenstellung der Untersuchungsverfahren. Es wird die Wärmemessung, die Lichtmessung und die chemische Untersuchung der Brennstoffe ausführlich behandelt. Dann folgt die Untersuchung der atmosphärischen Luft, mit besonderer Rücksicht auf Zimmerluft, die Untersuchung von Feuergasen, Heizgas und Leuchtgas.

Der zweite Theil behandelt die Brennstoffe Holz und Torf, besonders eingehend aber — der großen Wichtigkeit derselben entsprechend — die Mineralkohlen. Nach einer geschichtlichen Einleitung wird die Statistik der Kohlenförderung aller Länder der Erde so ausführlich und vollständig mitgetheilt, wie dieses noch nirgend geschehen ist. Dann folgt — sehr eingehend — die Kohlenchemie mit so viel Analysen und Quellenangaben, wie sie kein anderes Buch bringt. Die Besprechung der Kohlenbildung und der Selbstentzündung schließt diese Abtheilung.

Die folgende Lieferung enthält die Herstellung der Preßkohlen und die Kokerei; die nächste ausführlich die Herstellung von Generatorgas, Mischgas, Wassergas u. s. w., sowie die Gasfeuerungen. Beide sind in Arbeit und werden voraussichtlich noch vor den Sommerferien fertig.

Die unliebsame Verzögerung im Erscheinen der „chemischen Technologie der Brennstoffe" wurde durch längere Kränklichkeit des Verfassers veranlaßt, welche aber durch seine Uebersiedelung nach Göttingen so weit gehoben ist, daß nunmehr der noch fehlende Theil des Buches rasch erscheinen wird.

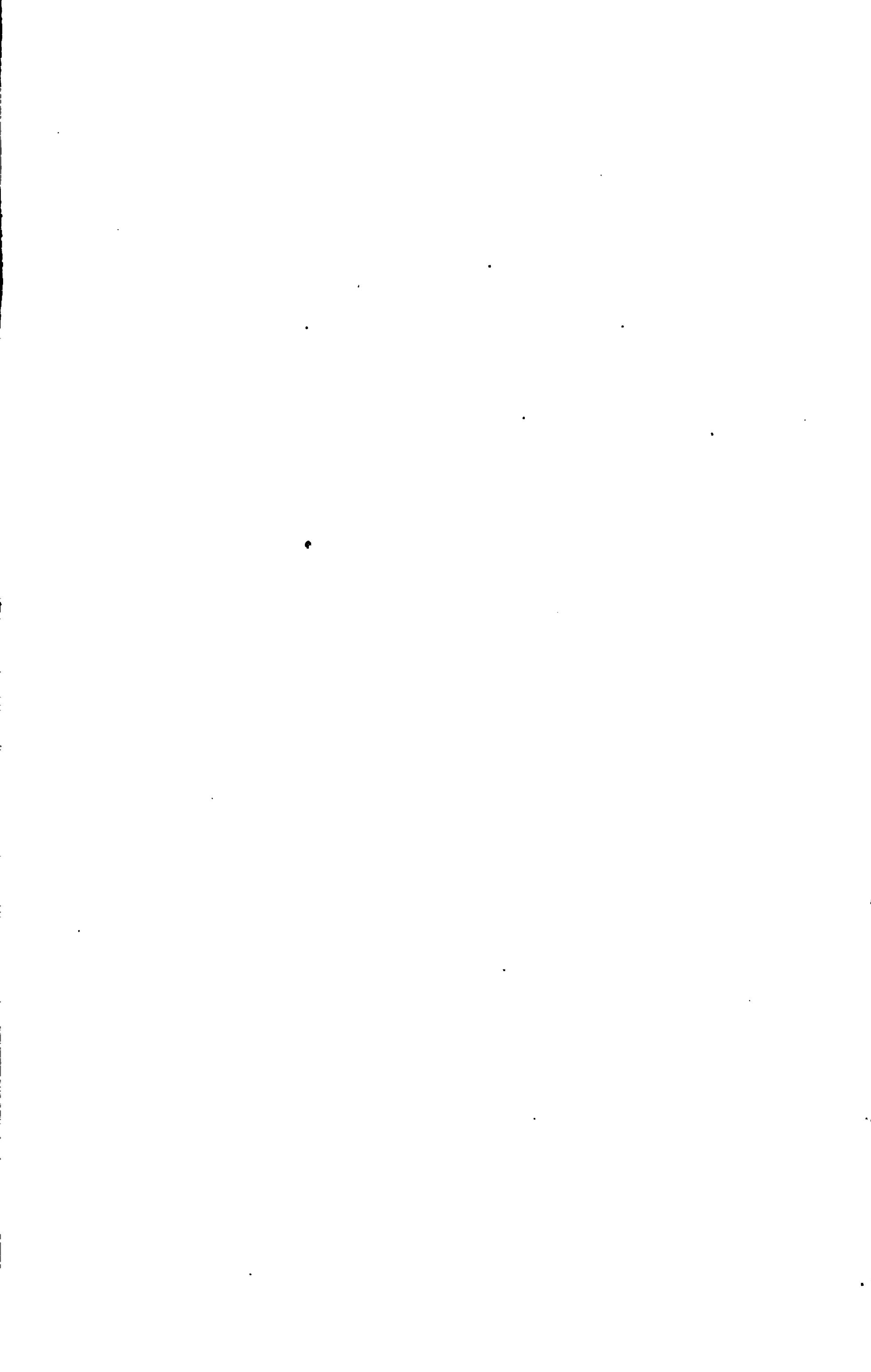
Göttingen, im Januar 1897.

Der Verfasser.

Inhalt.

1. Untersuchungsverfahren.

2. Brennstoffe.



Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Handbuch

der

chemischen Technologie.

In Verbindung

mit

mehren Gelehrten und Technikern bearbeitet,

und herausgegeben

von

Dr. P. Bolley,

weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnicum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt

von

Dr. K. Birnbaum,

Hofrath und Professor der Chemie am Polytechnicum in Karlsruhe.

Acht Bände,

die meisten in mehre Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie

der

Brennstoffe.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1880.

Die

chemische Technologie

der

Brennstoffe.

Von

Dr. Ferdinand Fischer,
Professor in Göttingen.

I.

Chemischer Theil.

Mit in den Text eingedruckten Abbildungen.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1897

Vorwort.

Die brennenden Holzscheite auf dem offenen Herde unserer Vorfahren bilden den Ausgangspunkt alles Culturlebens. Erst später wurde an einzelnen Orten Torf mit verwendet, dann auch Mineralkohlen. Einen ganz gewaltigen Aufschwung nahm die Verwendung der Kohlen in den letzten 50 Jahren. Während Deutschland i. J. 1848 nur 4 Millionen Tonnen Steinkohlen förderte, wurden 1895 80 Millionen Tonnen Steinkohlen und 25 Millionen Tonnen Braunkohlen gefördert, im Gesammtwerthe von 600 Millionen Mark.

Vorliegender erster Theil der chemischen Technologie der Brennstoffe bringt zunächst eine möglichst vollständige Zusammenstellung der **Untersuchungsverfahren**. Es wird die Wärmemessung, die Lichtmessung und die chemische Untersuchung der Brennstoffe ausführlich behandelt. Dann folgt die Untersuchung der atmosphärischen Luft, mit besonderer Rücksicht auf Zimmerluft, die Untersuchung von Feuergasen, Heizgas und Leuchtgas.

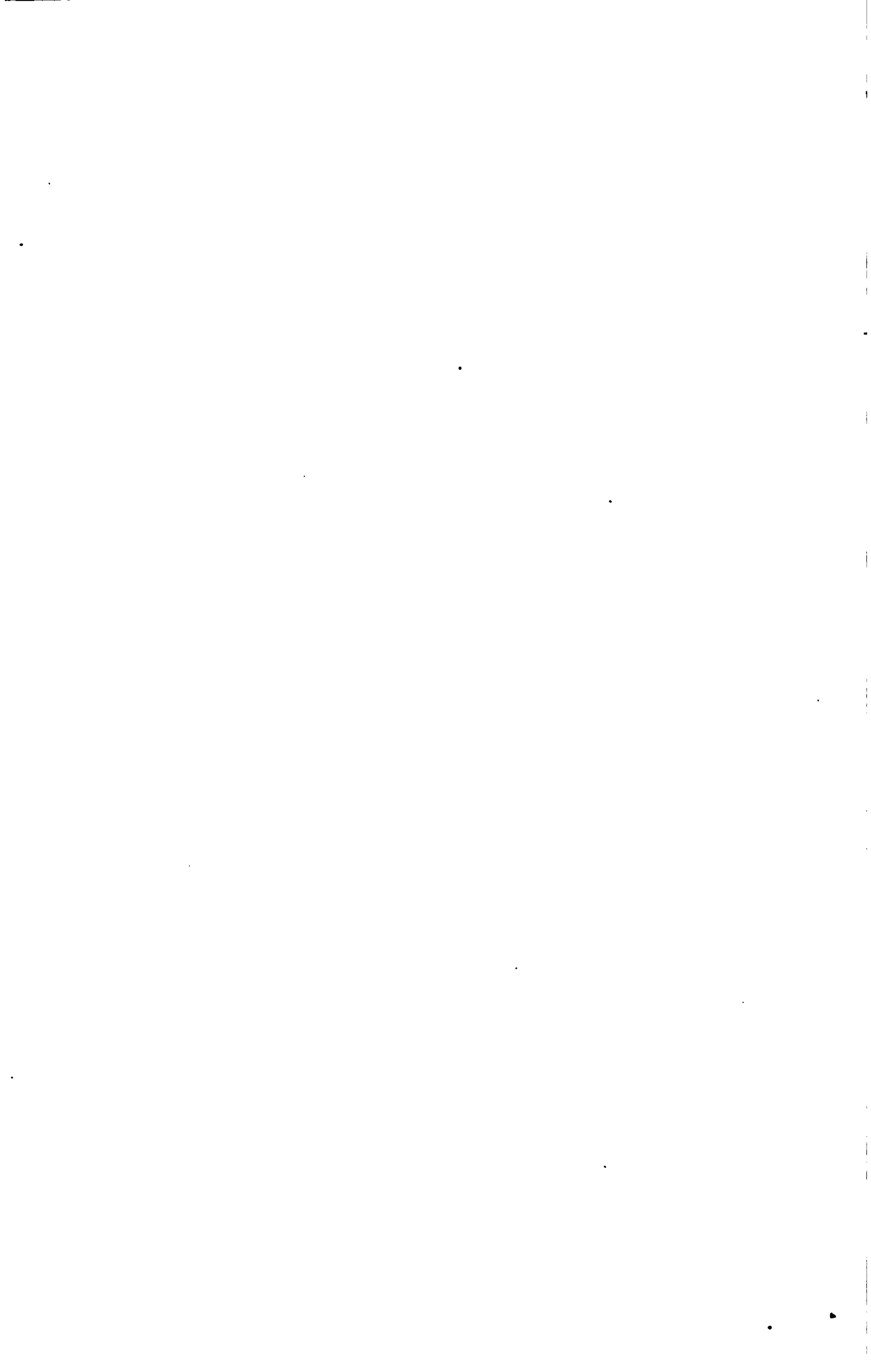
Der zweite Theil behandelt die **Brennstoffe** Holz und Torf, besonders eingehend aber — der großen Wichtigkeit derselben entsprechend — die Mineralkohlen. Nach einer geschichtlichen Einleitung wird die **Statistik** der Kohlenförderung aller Länder der Erde so ausführlich und vollständig mitgetheilt, wie dieses noch nirgend geschehen ist. Dann folgt — sehr eingehend — die **Kohlenchemie** mit so viel Analysen und Quellenangaben, wie sie kein anderes Buch bringt. Die Besprechung der Kohlenbildung und der Selbstentzündung schließt diese Abtheilung.

Die folgende Lieferung enthält die Herstellung der **Preßkohlen** und die **Kokerei**; die nächste ausführlich die Herstellung von **Generatorgas**, **Mischgas**, **Wassergas** u. s. w., sowie die **Gasfeuerungen**. Beide sind in Arbeit und werden voraussichtlich noch vor den Sommerferien fertig.

Die unliebsame Verzögerung im Erscheinen der „chemischen Technologie der Brennstoffe“ wurde durch längere Kränklichkeit des Verfassers veranlaßt, welche aber durch seine Uebersiedelung nach Göttingen so weit gehoben ist, daß nunmehr der noch fehlende Theil des Buches **rasch erscheinen** wird.

Göttingen, im Januar 1897.

Der Verfasser.



Inhalt.

1. Untersuchungsverfahren.

2. Brennstoffe.

1. Wärmemessung.

Geschichte. Das erste Thermometer soll von Galilei im Jahre 1556 hergestellt sein. Dasselbe war nach Tait[1]) ein Luftthermometer und bestand aus einer Kugel mit einer Röhre, die in eine Flüssigkeit eintauchte. Es wurde zuerst benutzt, die Temperatur eines Kranken zu bestimmen, der zu diesem Zwecke die Kugel in den Mund nahm. Libri[2]) bezweifelt das, da sonst die Mitglieder der Florentiner Akademie dieses erwähnt haben würden. Dem entsprechend schreibt man in der Regel das erste Thermometer nach Dalence[3]) dem Cornelius Drebbel in Alkmaar für das Jahr 1638 zu. Dasselbe besteht aus einer Kugel *A* (Fig. 1, a. S. 2) mit angeschmolzener Röhre, deren Mündung in das Gefäß *B* mit einer sehr verdünnten Lösung von Kupfer in Scheidewasser gesenkt ist. Bei mittlerer Temperatur steht die Flüssigkeit bei *H*, sie sinkt beim Erwärmen und steigt beim Abkühlen; doch wurde diese Bewegung nach einer willkürlichen Scala abgelesen. Wolf[4]) nahm statt des unteren Gefäßes eine offene Kugel *C* (Fig. 2), um den Apparat bequemer aufhängen zu können. Da auf diese eingeschlossene feuchte Luft nicht nur die Wärme, sondern auch die äußere Atmosphäre wirkt, so waren diese Wärmemesser sehr unvollkommen. Becher[5]) ließ (1680) die Kugel *C* weg, bog die Röhre nach oben und füllte sie mit Quecksilber. Das Luftthermometer von Amontons[6]) bestand aus einer mit Luft gefüllten Kugel *A* (Fig. 3) und einem etwa 1,2 m langen Glasrohre, welches Quecksilber enthielt. Gehler[7]) verbesserte diesen Apparat; beide berücksichtigten bei ihren Messungen auch den veränderlichen Druck der äußeren Atmosphäre. Lambert[8]) bestimmte mit einem solchen Luftthermometer zuerst die Ausdehnung der trocknen Luft zu 0,0037.

---

1) Dingl. 227, 412. Nach anderen Angaben ist dieses Thermometer dem Arzt Sanctorius in Padua zuzuschreiben. Der eigentliche Erfinder des Thermometers wird wohl unbekannt bleiben. — 2) Annal. de chim. phys. 40, 355. — 3) Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres (Amsterdam 1688). — 4) Nützliche Versuche, 2. Cap., V, §. *56. — 5) Fischer, Physikalisches Wörterbuch 1804, Bd. 5, 50. — 6) Mémoir. de l'Academie de Paris, 1702, 1; 1703, 260. — 7) Physikalisches Wörterbuch 1839, Bd. 9, S. *832. — 8) Pyrometrie (Berlin 1779).

Inzwischen waren die ersten Thermometer mit einer in Glas eingeschmolzenen Flüssigkeit unter der Leitung Rivieri's (gest. 1647) von Giuseppe Moriani, einem geschickten Glasbläser, ausgeführt. Diese Wärmemesser, mit denen die Florentiner Akademie [1]) u. a. fand, daß das Schmelzen des Eises stets bei derselben Temperatur stattfindet, bestand aus einer Kugel *N* (Fig. 4) mit angeschmolzenem Rohr, war bis *H* mit Weingeist gefüllt und auf einem mit einer Scala

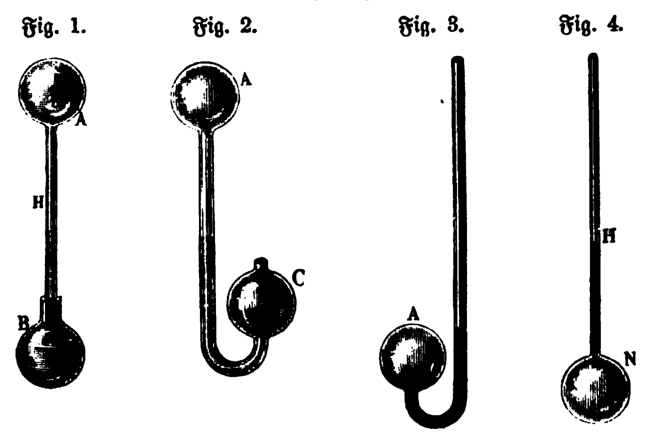


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.

versehenen Holzbrettchen befestigt, in derselben Weise, wie dies bei unseren gewöhnlichen Zimmerthermometern noch heute der Fall ist. Newton [2]) füllte sein Thermometer mit Leinöl, Fahrenheit in Danzig, der die ersten Thermometer mit gleichförmiger Theilung lieferte, verwendete anfangs wieder Weingeist, dann aber 1709 (nach anderen Angaben 1714) Quecksilber zur Füllung. Reaumur [3]) nahm wieder Weingeist von der Stärke, daß er Schießpulver entzündete, Lutz [4]) Ammoniakflüssigkeit; auch wurden von Muncke [5]) concentrirte Schwefelsäure, Schwefelkohlenstoff und Petroleum besprochen, ohne daß jedoch diese Stoffe irgend welchen Beifall gefunden hätten.

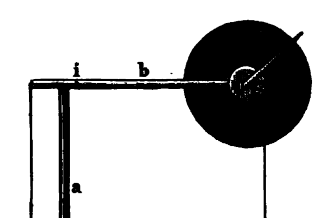
Nachdem bereits Muschenbroek [6]), welcher zuerst den Namen Pyrometer gebrauchte (1731), Ellicott (1736) u. A. die Ausdehnung der Metalle beim Erwärmen dadurch untersucht hatten, daß sie das eine Ende einer Stange festlegten, das andere aber durch Räder oder Hebelübertragung auf einen Zeiger wirken ließen, stellte Mortimer [7]) 1746 das erste Metallthermometer her. Der runde eiserne Stab *a* (Fig. 5) von etwa 1 m Länge wurde bei *c* in einem Gestell unbeweglich befestigt. Das freie Ende drückte gegen den kürzeren Arm des um *i* beweglichen Hebels *b*, dessen längerer Arm mit einer um die Rolle *e* laufenden

---

[1]) Tentamina Acad. del Cimento; Muschenbroek I, 2. — [2]) Philos. transact. 1701, Nr. 270. — [3]) Mém. de l'Acad. de Paris 1730, 452; 1731, 250. — [4]) Anweisung Thermometer zu verfertigen (Nürnberg 1781) 3. Aufl., 1834, S. *258. — [5]) Gehler's Physikalisches Wörterbuch 9, *848. — [6]) Fischer, Physikalisches Wörterbuch 1801, 4, *52. — [7]) Philosoph. trans. 44, *672.

Schnur verbunden war. Das Gegengewicht *g* hielt diese Schnur straff, das Gewicht *d* sorgte für die Berührung zwischen Hebel und Stange *a*. Sobald nun diese Stange durch die zu messende Wärme ausgedehnt wurde, drehte sich mit der Rolle *e* der Zeiger *z* vor der unbeweglichen Scheibe *s*, auf der die Grade nach Fahrenheit aufgetragen waren. Löser [1]) übertrug die Ausdehnung der Metallstange durch Räder auf den Zeiger. Felter [2]) in Braunschweig benutzte bald darauf die verschiedene Ausdehnung zweier Metalle, indem er eine dünne, 1,2 m lange Messingstange mit einer gleichen aus Eisen durch Niete an einem Ende verband, während der Messingstab am anderen Ende mit einem meterlangen Zeiger verbunden war, der durch den Eisenstab hindurch ging.

Fig. 5.



Mortimer hatte bei Beschreibung seines Metallthermometers bereits bemerkt, daß man große Hitze durch die Zusammenziehung von Pfeifenthon messen könne. Wedgwood [3]) setzte dem entsprechend einen bestimmten Thon in Kugel-, Cylinder- und Würfelform der zu messenden Hitze aus und berechnete die Temperatur aus dem Schwinden desselben. Sein Nullpunkt war bei 1000° F. (538° C.), nach anderen Angaben bei 1077,5°, die höchste von ihm erreichte Temperatur 160° seines Pyrometers angeblich 20 848° F. Die völlige Unbrauchbarkeit dieser Apparate wurde namentlich von Guyton de Morveau [4]) nachgewiesen.

Die Florentiner Akademie theilte ihre Thermometer von dem Nullpunkt, welcher der Temperatur ihrer tiefen Keller und nach Libri [5]) 15° R. entsprach, ab nach oben und unten in willkürliche Grade ein. Renaldini [6]) schlug bereits die Anwendung von Eis und siedendem Wasser zur Bestimmung der festen Punkte vor, worauf dann Newton den Nullpunkt seines Leinölthermometers mit Eis feststellte, dann aber das Thermometer von 0° bis zur menschlichen Blutwärme in 12 Grade theilte, so daß der Siedepunkt des Wassers auf 34° fiel. Fahrenheit bezeichnete die im Winter 1809 in Danzig erreichte Kälte mit 0°, den Schmelzpunkt des Eises mit 32°, er hat aber außerdem jedenfalls schon das siedende Wasser, 212° seines Thermometers, benutzt; mit seinen Angaben [7]) über die Herstellung seiner Thermometer scheint er nur Andere haben irre führen zu wollen. Reaumur bestimmte den Nullpunkt seiner ungemein großen Thermometer durch gefrierendes Wasser, tauchte sodann in siedendes Wasser und schmolz sie zu, sobald der Weingeist die größte Höhe erreicht hatte; den Zwischenraum theilte er in 80°. Die Thermometer waren bei weitem nicht so genau, als die von Fahrenheit,

---

[1]) Titius: Thermometri metallici (Leipzig 1763). — [2]) Gothaisches Magazin Bd. 4, III, 89. — [3]) Philos. trans. 72, 305; 74, 385; 96, 390; Gehler's Physikalisches Wörterbuch 7, S. *983. — [4]) Essay de Pyrometrie (Paris 1808). — [5]) Poggendorff's Ann. 21, 325. — [6]) Philosophia naturalis (Patav. 1694), 3, 776. — [7]) Philosoph. trans. 1724, Nr. 382, 78.

wie namentlich de Luc [1]) nachwies, der auch für diese Thermometer die Vorzüge des Quecksilbers zeigte, die festen Punkte genauer bestimmte, die Eintheilung in 80° aber beibehielt, so daß diese Thermometer richtiger nach ihm benannt werden sollten. Celsius [2]) endlich theilte das Thermometer vom Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt des Wassers in 100°. Zahlreiche Vorschläge, von dieser einfachen Eintheilung wieder abzugehen, haben glücklicher Weise keine weitere Beachtung gefunden [3]).

Da noch jetzt in England und Nordamerika fast ausschließlich die Thermometer nach Fahrenheit, sonst aber namentlich in Deutschland neben den Graden von Celsius auch noch die von Reaumur (de Luc) gebraucht werden, so wird die Bemerkung nicht überflüssig sein, daß die Umrechnung derselben in folgender Weise ausgeführt werden kann:

$$F. = \frac{9}{4} R. + 32 = \frac{9}{5} C. + 32$$
$$R. = \frac{4}{9} (F. - 32);\ C. = \frac{5}{9} (F. - 32) = \frac{5}{4} R.$$

Nebenstehende Tabelle giebt eine Umrechnung für die gebräuchlichsten Temperaturen.

Uebersicht der gebräuchlichsten Thermometer. Die bisher gemachten zahlreichen Vorschläge zur Wärmemessung suchen diese Aufgabe zu lösen durch Benutzung folgender Erscheinungen:

1. Ausdehnung fester, flüssiger und luftförmiger Körper.
2. Aenderung des Aggregatzustandes.
3. Dissociation.
4. Optische und akustische Erscheinungen.
5. Elektrische Erscheinungen.
6. Vertheilung der Wärme.

1. Ausdehnung. Die Ausdehnung fester Körper hat man namentlich zur Bestimmung hoher Temperaturen benutzt. Um diese verhältnißmäßig geringe Ausdehnung leichter sichtbar zu machen wird sie, wie bereits S. 3 erwähnt, meist durch Zahnräder oder Hebel auf einen Zeiger übertragen. Die der zu messenden Hitze ausgesetzte Metallstange t (Fig. 6, a. S. 6) berührt mit ihrem einen Ende bei v eine feste Widerlage, während das andere Ende des Stabes gegen den kürzeren Arm k eines Winkelhebels stößt, dessen längerer Arm l auf eine Scala bei s zeigt. Dehnt sich die Stange t durch Erwärmen aus, so muß das

---

[1]) Untersuchungen über die Atmosphäre (Leipzig 1776), Bd. 1, 355. — [2]) Schwedische Abhandlungen 1742, 197. — [3]) Fischer's Physik. Wörterb. Bd. 5, 62; Gehler's Wörterb. 870; Lutz, Thermometer, 274.

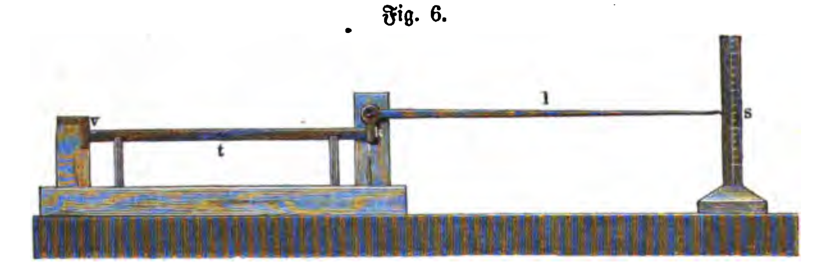
Es verdient noch bemerkt zu werden, daß bereits Cavendish (Phil. trans. 1757, 300) ein selbstregistrirendes Thermometer beschreibt, den Siedepunkt in Wasserdampf bestimmt, Hennert (Traité des thermomètres 1758, 44) die Correction eines Thermometers mittels eines abgerissenen Quecksilberfadens ausführt, und Rutherford (Edinburgh. Phil. trans. 1794) die ersten Thermometrographen aus Quecksilber- und Weingeistthermometer zusammensetzte.

Fahrenheit	Celsius	Reaumur (de Luc)	Celsius	Reaumur (de Luc)	Fahrenheit	Reaumur (de Luc)	Celsius	Fahrenheit
— 20	— 28,88	— 23,11	— 20	— 16,0	— 4,0	— 20	— 25,00	— 13,00
— 10	— 23,33	— 18,66	— 10	— 8,0	+ 14,0	— 10	— 12,00	+ 9,50
0	— 17,77	— 14,22	0	0,0	32,0	0	0,00	32,00
1	— 17,22	— 13,77	1	0,8	33,8	1	1,25	34,25
2	— 16,66	— 13,33	2	1,6	35,6	2	2,50	36,50
3	— 16,11	— 12,88	3	2,4	37,4	3	3,75	38,75
4	— 15,55	— 12,44	4	3,2	39,2	4	5,00	41,00
5	— 15,00	— 12,00	5	4,0	41,0	5	6,25	43,25
6	— 14,44	— 11,55	6	4,8	42,8	6	7,50	45,50
7	— 13,88	— 11,11	7	5,6	44,6	7	8,75	47,75
8	— 13,33	— 10,66	8	6,4	46,4	8	10,00	50,00
9	— 12,77	— 10,22	9	7,2	48,2	9	11,25	52,25
10	— 12,22	— 9,77	10	8,0	50,0	10	12,50	54,50
11	— 11,66	— 9,33	11	8,8	51,8	11	13,75	56,75
12	— 11,11	— 8,88	12	9,6	53,6	12	15,00	59,00
13	— 10,55	— 8,44	13	10,4	55,4	13	16,25	61,25
14	— 10,00	— 8,00	14	11,2	57,2	14	17,50	63,50
15	— 9,44	— 7,55	15	12,0	59,0	15	18,75	65,75
16	— 8,88	— 7,11	16	12,8	60,8	16	20,20	68,00
17	— 8,33	— 6,66	17	13,6	62,6	17	21,25	70,25
18	— 7,77	— 6,22	18	14,4	64,4	18	22,50	72,50
19	— 7,22	— 5,77	19	15,2	66,2	19	23,75	74,75
20	— 6,66	— 5,33	20	16,0	68,0	20	25,00	77,00
25	— 3,88	— 3,11	25	20,0	77,0	25	31,25	88,25
30	— 1,11	— 8,00	30	24,0	86,0	30	37,50	99,50
40	+ 4,44	+ 3,55	40	32,0	104,0	40	50,00	122,00
50	10,00	8,00	50	40,0	122,0	50	62,50	144,50
60	15,55	12,44	60	48,0	140,0	60	75,00	167,00
70	21,11	16,88	70	56,0	158,0	70	87,50	189,50
80	26,66	21,33	80	64,0	176,0	80	100,00	212,0
90	32,22	25,77	90	72,0	194,0	90	112,5	234,5
100	37,77	30,22	100	80,0	212,0	100	125,0	257,0
200	93,33	74,66	200	160,0	392,0	200	250,0	482,0
300	148,88	119,11	300	240,0	572,0	300	375,0	707,0

Ende des Zeigers *l* an der Scala in die Höhe gehen. William [1]) befestigte in dem Raume, dessen Temperatur bestimmt werden sollte, eine Metallstange, deren freies Ende aus der Ofenwand herausragte und auf einen Hebel wirkte, dessen Bewegung auf einen mittels Uhrwerk vorübergezogenen Papierstreifen selbstthätig aufgezeichnet wurde. Da es wohl kaum möglich ist, bei gewerblichen Feuerungsanlagen einen unverrückbaren Punkt für das festgelegte Ende eines solchen Metallstabes zu finden, so sind derartige Metallthermometer schon aus diesem Grunde durchaus unzuverlässig.

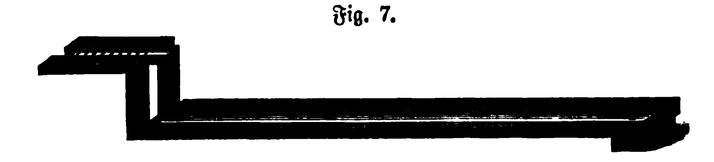
Mehr Vertrauen verdienen schon die Apparate, welche den Unterschied in der Ausdehnung zweier verschiedener Körper benutzen. Als eine der ältesten

Fig. 6.



derartigen Vorrichtungen ist das Pyrometer von Borda [2]) zu bezeichnen. Zwei aus verschiedenen Metallen gebildete Stäbe sind ihrer Länge nach auf einander gelegt und, wie Fig. 7 zeigt, an dem einen Ende fest verbunden. Am anderen Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches erst senkrecht aufsteigt und dann wagerecht umgebogen ist. Die horizontalen Arme des Ansatzstückes können frei

Fig. 7.



an einander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Berührungslinie eingetheilt sind, und zwar so, daß die Theilung des einen einen Nonius für den anderen bildet, daß also etwa 19 Thle. der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der anderen sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau den Unterschied der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen und daraus die Temperatur berechnen.

In der Regel wendet man aber auch hier eine Hebel- und Räderübersetzung an, um die verschiedene Ausdehnung deutlicher sichtbar zu machen. Guyton de Morveau [3]) legte (1803) bei seinem Pyrometer eine Stange von Platin *a*

---

[1]) Dingl. *1862, 166, 144; vergl. 1828, 27, *272. — [2]) Biot, Traité de physique 1816, 1, *159; Dingl. 1824, 13, 252. — [3]) Essay de Pyrometrie Paris *1808); Annal. de chim. 46, 276; Dingl. 1832, 43, 190.

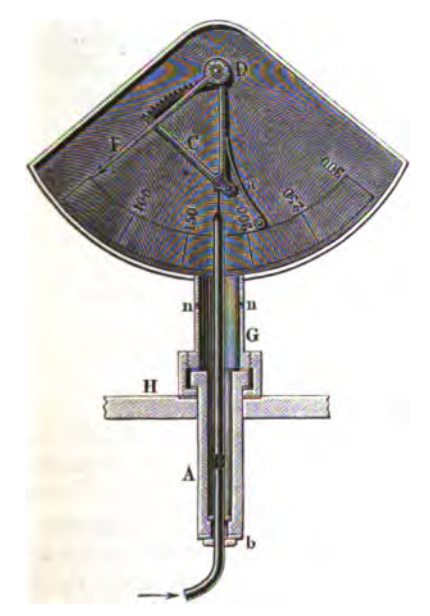
(Fig. 8) in den Ausschnitt einer Porcellanplatte *P*. Der Unterschied in der Ausdehnung beider wirkte auf den kürzeren Arm des um den Zapfen *i* drehbaren Hebels, mit welchem der Zeiger *Z* verbunden war. Aehnlich war das Pyrometer von Brogniart, während Daniell[1]) einen dünnen Platinstab in eine Röhre aus Graphit und Thon einschloß und die Ausdehnung auf einen Hebel mit Noniustheilung übertrug.

Fig. 8.



Bussius[2]) giebt folgendes Thermometer für erhitzten Wind bei Hochöfen u. dergl. an. Der gut gebrannte Chamottecylinder *A* (Fig. 9) ist im Boden durchbohrt, um die Metallröhre *B* durchstecken zu können und sie dann durch die Mutter *b* damit zu verbinden. Das untere Ende derselben ist der Richtung des Windes entgegengesetzt, während die Spitze der Röhre den Zahnbogen *C* bei ihrer Ausdehnung in Bewegung setzt, dieser wieder das kleine Zahnrad *D*, auf dessen Welle der Zeiger *F* befestigt ist. Beim Erkalten drückt die kleine Feder *a* diese Vorrichtung in ihre frühere Lage zurück. Um eine zu große Erhitzung der Luft im Gehäuse *G* zu verhüten, ist dasselbe bei *n* durchbrochen, außerdem von dem Cylinder *A* und dem Düsenständer *H* durch Filzscheiben isolirt. Gibbon[3]) verwendet zu gleichem Zweck zwei Stäbe aus Eisen und Kupfer, deren verschiedene Ausdehnung auf einen Hebel übertragen wird.

Fig. 9.



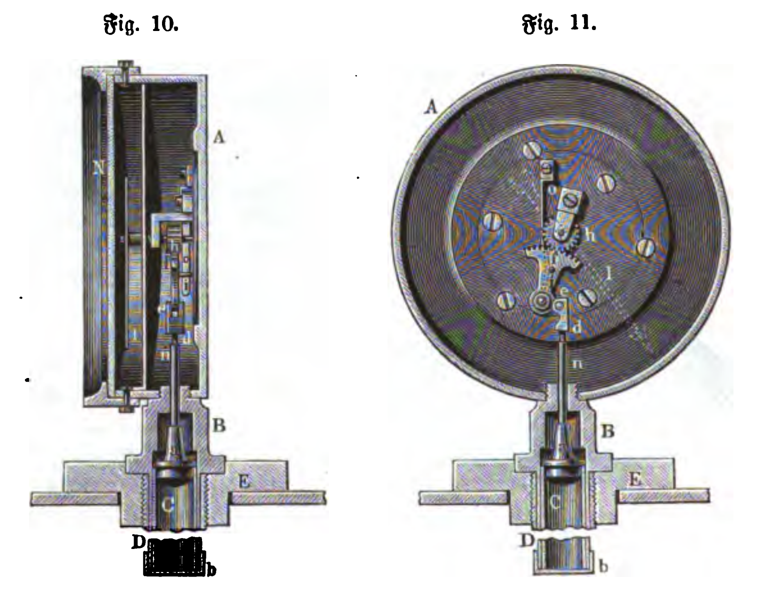
Petersen[4]) verwendet zur Bestimmung hoher Temperaturen einen in ein eisernes Rohr eingeschlossenen starken Platindraht, dessen Ausdehnung auf einen Hebel übertragen wird, Dechsle[5]) befestigte dagegen in einem eisernen Rohre einen massiven Kupferdraht, dessen freies Ende mittels Hebel und Zahnrad auf einen Zeiger wirkte; später nahm er statt des Kupferdrahtes eine dünnwandige Messingröhre. Sehr ähnlich ist das

---

1) Dingl. 1828, **29**, *416; 1832, **43**, *189; **46**, 174, 241. — 2) Dingl. 1862, **164**, *107. — 3) Dingl. 1838, **68**, *436; 1877, **225**, 273. — 4) Gehler's Physik. Wörterb. 7, *994. — 5) Dingl. 1861, **160**, *112; 1870, **196**, *218.

Pyrometer von Gauntlett und Desbordes [1]). Es besteht aus einer metallenen Hülse *A* (Figuren 10 und 11) mit gläsernem Zifferblatt, welches durch einen Ring festgehalten wird. Sie wird von einem hohlen metallenen Fuße *B* getragen, der auf einer Platte *E* ruht. Die Röhre *D* aus Schmiedeisen ist oben mit dem Fuße *B* fest verbunden, unten aber durch die Kapsel *b* mit dem inneren Kupferrohr *C*, welches sich im Uebrigen frei in dem Eisenrohre bewegen kann. Da das Eisenrohr beim Erwärmen sich weniger ausdehnt, als das innere Kupferrohr, so hebt dieses die Haube *a*, welche durch die Stange *n* mit dem Gabelstücke *d* verbunden ist. Dieses sitzt mittels des Bolzens *e* an einem Zahnsegmente *f*, welches in ein kleines Getriebe *h* eingreift und somit auf den an dessen Achse befindlichen Zeiger *l* einwirkt. Die auf den Stift *i* wirkende Feder *o* führt beim Erkalten

Fig. 10. Fig. 11.

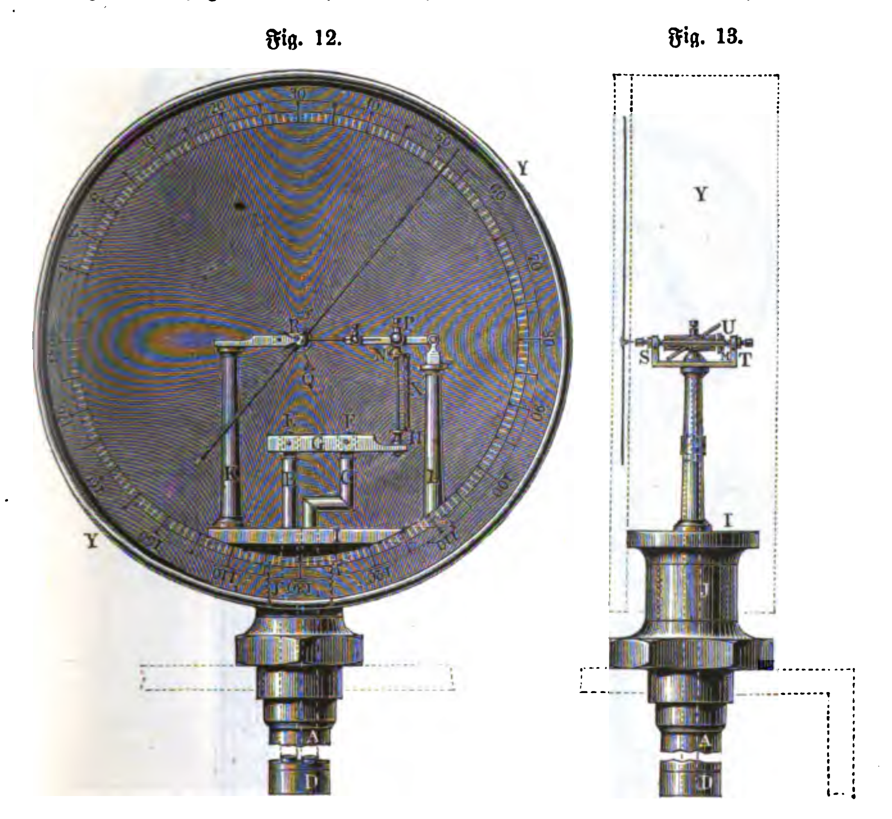


den Zeiger in seine frühere Lage zurück. Bock [2]) verwendet in ähnlicher Weise ein in einem eisernen Rahmen befestigtes Messingstäbchen, Hescler [3]) für niedere Temperaturen Stahl und Zink. Bei Lion und Guichard [4]) umschließt ein kupfernes Rohr *A* (Fig. 12 u. 13) zwei Stangen *B* und *C*, die eine von Kupfer, die andere von Eisen, welche unten an dem Cylinder *D* festgelöthet sind, während an die oberen Enden bei *E* und *F* ein Hebel *G* befestigt ist, der auf einer Seite die kleine Lagerpfanne *H* trägt. Das Rohr *A* ist mittels der Mutter *J* an eine Platte *I* festgeschraubt, von der sich die beiden Säulen *K* und *L* erheben, um die Achse *M* zu tragen. An diese Achse ist ein kleines trichterförmiges Lager *N* befestigt,

[1]) Dingl. 1875, 144, *26; 1861, 160, 393; 1860, 157, *279. — [2]) Dingl. 1870, 195, *312. — [3]) Dingl. 1875, 216, *398. — [4]) Dingl. 1876, 220, *37.

welches mit der Lagerpfanne *H* durch eine Stange verbunden ist; eine Drahtfeder *X* hält diese Theile *N* und *H* in ihrem richtigen Abstande. Ein an der Achse *M* befindlicher Hebel *P* ist mit der gebogenen Stange *Q* verbunden, welche in die zwischen zwei Trägern *S* und *T* gelagerte Schraube *R* eingreift und diese beim Senken oder Heben der Vorrichtung entsprechend dreht. Die Achse der Schraube ist zugleich die des die Temperatur angebenden Zeigers. Eine besondere an dem Träger *S* befestigte Feder führt die Schraube wieder in ihre ursprüngliche Lage zu-

Fig. 12. Fig. 13.



rück. Die ganze Vorrichtung ist in ein Gehäuse *Y* eingeschlossen, welches ein in Centigrade getheiltes Zifferblatt *Z* umfaßt.

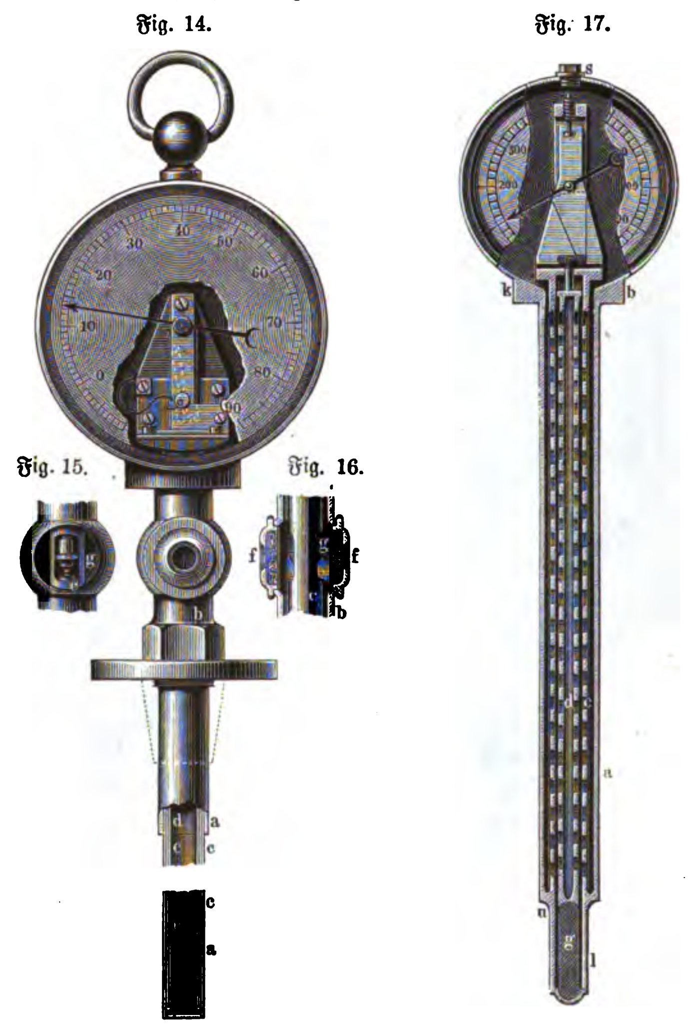
Für Temperaturen, welche 300° übersteigen, werden die Apparate mit beweglichem Zifferblatt hergestellt, damit sie nach jedesmaligem Gebrauch wieder richtig eingestellt werden können.

Das Pyrometer von Zabel [1]) beruht auf der ungleichen Ausdehnung zweier Metallstäbe. In dem geschlossenen Schutzrohre *a* (Fig. 14, a. f. S.), welches

[1]) Dingl. 1878, 230, *320.

in den Körper *b* eingeschraubt ist, befindet sich ein Messingrohr, für höhere Temperaturen bis 900° ein Kupferrohr *c*. Dieses ist im Körper befestigt und trägt an seinem oberen Ende die Werkplatten eines Fühlhebelapparates. In dem Rohre *c* befindet sich ein zweites Rohr *d* aus gleichem Metall, welches an seinem unteren Ende ein Stahlrohr *e* trägt und an seinem oberen mit dem Fühlhebel

Fig. 14. Fig. 17.



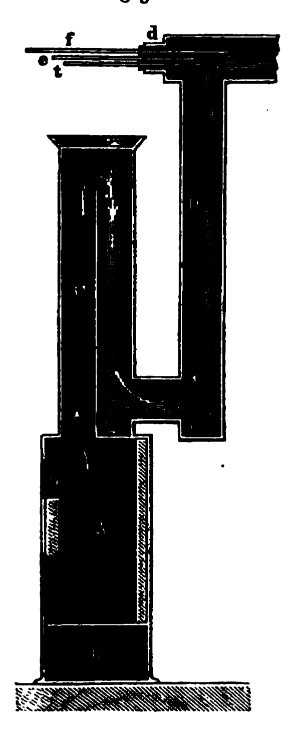
verbunden ist. Das Stahlrohr *e* ist unten mit dem Messingrohre *c* verschraubt. Taucht man nun den Schaft des Instrumentes, d. h. den Theil von Flansche, Conus oder Gewindezapfen abwärts, in die Flüssigkeit oder Feuerluft, deren Temperatur gemessen werden soll, so erwärmen und dehnen sich die Rohre *c* und *d* gleichmäßig, da dieselben aus gleichem Metall bestehen; nur das Stahlrohr *e* dehnt sich weniger aus.

Dieser Unterschied in der Ausdehnung wird durch das Fühlhebelwerk, welches in der Abbildung durch das auf dem Zifferblatt herausgeschnittene Stück sichtbar ist, auf den Zeiger übertragen, welcher die betreffende Temperatur auf der Scala anzeigt.

Damit zur gleichmäßigeren Erwärmung der Rohre die erhitzte Luft in den Rohren circuliren und austreten kann, ist der Körper mit zwei Oeffnungen versehen, welche mit einer eigenthümlichen Filtrirvorrichtung *f* (Fig. 16), bestehend aus zwei Drahtsieben mit zwischengelegtem Schwamme, zugeschraubt sind, damit auch in feuchten oder staubigen Räumen mit dem Instrument gearbeitet werden kann. Die Einstellung der Scala geschieht nach dem Abschrauben der erwähnten Filtervorrichtung mittels der gezahnten Scheibe *g* (Fig. 15).



Fig. 18.



Steinle und Hartung in Quedlinburg verfertigen Graphitpyrometer. Das geschlossene Schutzrohr *a* (Fig. 17) trägt auf seinem oberen Ende die Büchse *b* mit der Scala und ist an seinem unteren Ende bei *u* mit dem siebartig durchlöcherten Rohre *c* verbunden. Letzteres trägt auf seinem Kopfe, der bei *k* eine gute Führung im Schutzrohr *a* erhält, das Zeigerwerk, welches durch das ebenfalls durchlöcherte Rohr *d* in Verbindung mit dem Graphitstab *g* steht. Sobald das Rohr in Folge äußerer Temperatureinflüsse seine Länge verändert, wird der Graphitstab und durch Vermittelung des Rohres *d* auch der Zeiger in Bewegung gesetzt. Das Schutzrohr *a* kann seine Länge beliebig verändern, ohne auf das Zeigerwerk irgend welchen Einfluß zu üben, während die Rohre *c* und *d*, da sie durchlöchert und von einer großen Luftschicht umspült sind, immer gleiche Temperaturen und darum auch gleiche Längen behalten sollen. Die Einstellung geschieht nach dem Lösen der Schraube *s* mittels eines eingesteckten Schlüssels durch entsprechendes Drehen des Zeigers.

Der Güte der genannten Firma verdanke ich ein sehr gut gearbeitetes Graphitpyrometer, welches ich mehrfach mit dem Siemens'schen elektrischen Pyrometer (S. 49) und meinem kleinen Calorimeter (S. 64), für niedere Temperaturen mit einem Geißler'schen Quecksilber-Normalthermometer mit Stickstofffüllung verglichen habe. Die Apparate wurden unmittelbar neben einander in einen eigens für derartige Zwecke vorgerichteten Ofen gebracht (Fig. 18 zeigt den Durchschnitt desselben in $^1/_{20}$ nat. Größe), in dem statt der Thür *b* eine gut schließende Blechscheibe mit den genau schließenden Apparaten eingesetzt wurde. Der 0,5 m hohe Feuerraum *A* ist mit feuerfesten Steinen ausgesetzt; die Thüren zu der mit einer schrägen Rast versehenen Schüröffnung *a* und die zum Aschenfall *B* sind

mit einer Verschraubung versehen. Die Rauchgase gehen in der Pfeilrichtung durch den Aufsatz C und entweichen durch das Blechrohr D zum Schornstein. In dem Rohransatz d ist mittels eines gut schließenden Korkes das Thermometer t (Geißler'sches mit Stickstofffüllung), das zum Zugmesser führende Rohr e und das mit dem Apparat zur Untersuchung der Rauchgase verbundene Glasrohr f befestigt. Sämmtliche Fugen am Ofen sind mit einem Gemisch von Wasserglas, Asbest und Thon sorgfältig gedichtet. Durch die vielen Biegungen werden die Rauchgase völlig gemischt; gleichzeitig bei c und d genommene Gasproben hatten bis auf 0,1 Proc. genau dieselbe Zusammensetzung.

Während bei 150° die Temperaturangaben der Thermometer von Siemens (S. 49), Geißler (mit Stickstofffüllung) sowie Steinle u. Hartung[1]) sehr gut stimmten, gab eine der Versuchsreihen mit höheren Temperaturen z. B. folgendes Resultat:

Zeit Uhr	Zeit Min.	Steinle und Hartung	Siemens	F. Fischer	Geißler	Zeit Uhr	Zeit Min.	Steinle und Hartung	Siemens	Fischer	Geißler
8	40	843	751	754	—	2	25	945	696	—	—
9	0	910	837	—	—	2	30	945	766	741	—
9	15	862	778	761	—	2	35	939	796	—	—
9	20	860	750	—	—	2	40	928	798	788	—
9	23	858	751	—	—	2	50	850	732	—	—
9	27	852	747	—	—	2	55	820	705	—	—
9	30	848	744	730	—	3	5	788	664	—	—
9	40	810	710	697	—	3	10	768	651	—	—
10	0	670	585	—	—	3	15	730	633	—	—
10	10	581	502	—	—	3	25	700	609	—	—
10	14	560	495	482	—	4	10	438	284	—	285
10	20	511	449	440	—	4	15	405	261	—	256
10	35	312	308	—	304	4	25	320	212	—	208
10	40	294	290	—	287	4	30	228	142	—	138
2	5*	68	—	—	16	4	50	223	118	—	117
							**	88	17	—	16

* Im Zimmer. ** Am anderen Morgen.

Eine spätere Versuchsreihe, bei welcher der Ofen mit Piesberger Anthracit geheizt wurde, gab bei gleichzeitiger Untersuchung der Rauchgase folgendes Ergebniß:

[1]) Ein während des Druckes erhaltenes Graphitpyrometer ist nach vorläufigen Versuchen erheblich besser als das frühere.

Zeit Uhr	Min.	Kohlensäure	Sauerstoff	Stickstoff	Zugstärke mm	Abgangsgase Temperatur	Ofentemperatur Steinle und Hartung	Siemens	Fischer	Bemerkungen
	10	9,3	11,1	79,6	5	184°				11 Uhr 40 Min. aufgeworfen.
	20	10,2	10,1	79,1		214				Aschenthür wenig geöffnet.
	30	11,2	9,2	79,6		219				Ofen in der Mitte rothglühend.
	45	10,9	9,5	79,6		225	860	992	981	
1	—	10,7	9,8	79,5	5,3	228	850	959	948	Starker Südwind, Temp. 8°.
2	—	8,3	12,0	79,7	5—6	207	710	949	926	Dann frisch aufgeworfen.
	15	9,2	11,4	79,4		162				Thaupunkt 12°.
	30	10,3	10,0	79,7		202				
	45	11,7	8,7	79,6		228	700	845	826	10 l enthielten 64 mg SO_2 und [12 mg SO_3.
3	—	13,6	6,7	79,7	6	234	750	820	809	
	15	12,8	7,5	79,7		241	909	800	797	
	30	12,1	8,3	79,6		237	830	766	748	
	45	11,8	8,8	79,4		234	838	713	700	
4	—	11,7	8,8	79,5		230	848	739	730	12 l enthielten 49 mg SO_2 und [10 mg SO_3.
	15	11,2	9,3	79,5		226	820	731	719	
	30	10,9	9,7	79,4	6	221	807	722		Temp. im Laboratorium 24°.
	45	11,0	9,6	79,4		219	789	708	699	
5	—	10,5	10,0	79,5		218				
	30	10,4	10,3	79,3		216	762	691	683	
6	—	9,1	11,6	79,3		202	703	624	615	Thaupunkt 14°.

Das Pyrometer von Steinle und Hartung ist offenbar nach einem Quecksilberthermometer eingetheilt, ohne Rücksicht darauf, daß die Ausdehnung des Eisens in höheren Hitzegraden jedenfalls verhältnißmäßig viel größer ist. Daher werden die Abweichungen auch um so größer, je höher die Temperatur. Dieser Fehler läßt sich wohl durch eine passende Eintheilung künftig vermeiden. Große Temperaturschwankungen erträgt es aber nicht, wie die letzte Versuchsreihe zeigt. Langsam erwärmt stellt es sich etwas günstiger; in einem Ultramarinofen zeigte es z. B. am zweiten Tage 740°, während das Calorimeter (S. 64) 676° gab.

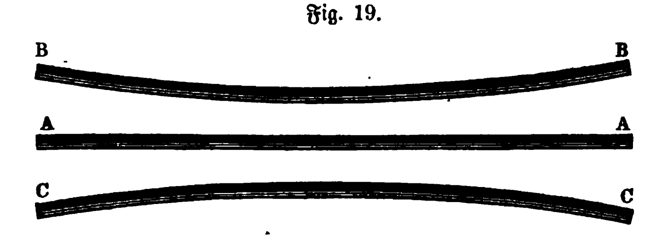
Diese Versuche zeigen, daß es wohl kaum gelingen wird, jemals ein zuverlässiges Metallpyrometer für hohe Temperaturen zu erhalten, da sich fast nach jeder Erhitzung der Molecularzustand der Metalle ändert, wenn auch die Volumänderung von Stäben aus Metallen, welche regulär krystallisiren, regelmäßiger

ist, als das der übrigen Metalle[1]). Jedenfalls aber muß ein Metallthermometer nach jedem Gebrauch genau wieder eingestellt werden können. Daß übrigens Pyrometer mit zwei verschiedenen Metallen noch weniger genau sind als solche mit einem Metall und einem so wenig veränderlichen Körper wie Graphit, liegt auf der Hand. Dem entsprechend mußte auch Weinhold[2]) mit den Pyrometern von Gauntlett und Bock für hohe Temperaturen ungenügende Resultate erhalten.

W. Maier[3]) in Ulm hat ein Pyrometer construirt, welches aus einem eisernen Rohre besteht, in dessen Achse sich eine Welle leicht bewegt. Um diese Welle ist ein Metallstab (ob aus einem oder zwei Metallen ist nicht gesagt) spiralförmig gewickelt, von welchem das eine Ende am Rohr, das andere an dieser Welle befestigt ist. Durch die Erwärmung und Abkühlung dreht sich die Spirale auf und zu und bewirkt dadurch eine Drehung der Welle, welche auf einem Zifferblatt mittels eines Zeigers ohne alle Uebertragungsmittel sichtbar gemacht ist. Eine bleibende Ausdehnung des Metallstabes soll bei dem von Maier angewendeten Metall bis 450° nicht stattfinden; hat sie aber dennoch stattgefunden, so läßt sich das Pyrometer angeblich leicht wieder richtig stellen.

Wenn man bei mittlerer Temperatur zwei gleich lange Streifen von Metallen auf einander nietet oder löthet, welche ungleiche Ausdehnungscoefficienten haben, z. B. Kupfer und Eisen, so muß sich der Streifen bei jeder Temperaturveränderung krümmen, wie dieses Fig. 19 andeutet, und zwar so, daß das stärker sich ausdehnende Metall nach außen gekehrt ist, wie bei *BB*, wenn die Temperatur steigt,

Fig. 19.



während es die innere Seite des Bogens bildet, wenn die Temperatur abnimmt, wie bei *CC*.

Bei dem Metallthermometer von Stöhrer[4]) ist ein Zinkstreifen *ab* (Fig. 20) auf den Stahlstreifen *cd* aufgelöthet und beide sind mit ihrem unteren Ende in das Metallstück *n* fest eingelassen, während im Uebrigen der ganze Doppelstreifen sich frei bewegen kann. Bei steigender Temperatur krümmt er sich in der Art, daß sein oberes Ende nach der rechten Seite hingeht, was mittels einer feinen Kette auch die Drehung der Scheibe *s* und des Zeigers *t* nach derselben Seite zur Folge hat. Bei sinkender Temperatur wird das Scheibchen *s* sammt dem

---

[1]) Jahresber. d. Chem. 1869, 83. — [2]) Dingl. 1873, 208, 125. — [3]) Dingl. 1878, 230, 320. — [4]) Müller, Lehrbuch d. Physik, Bd. 2, *638.

Zeiger *t* durch die Spiralfeder *o* wieder zurückgezogen. Die Grade werden durch Vergleichung mit einem anderen Thermometer aufgetragen.

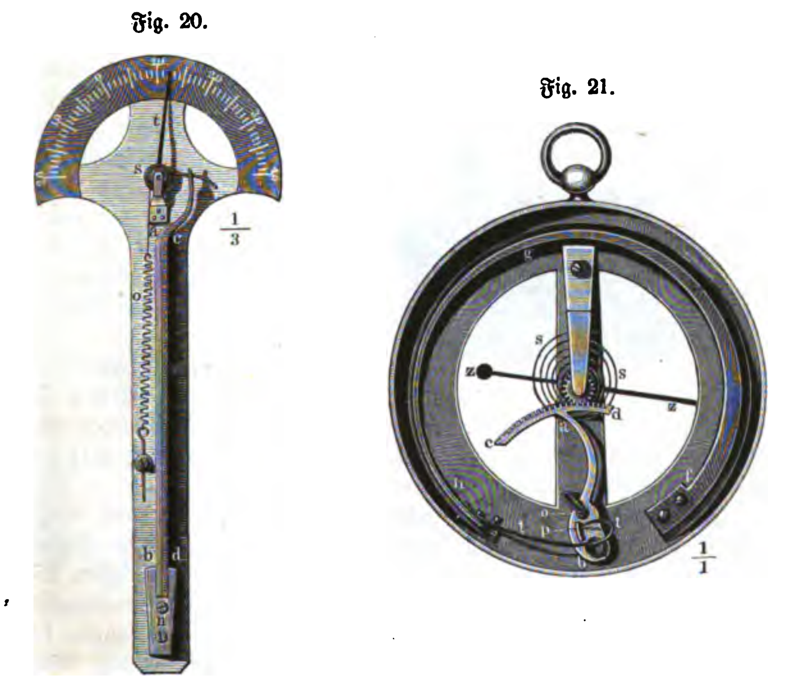
Derartige Thermometer, mögen sie nun aus zwei verschiedenen Metallen oder aus einem Metall und Hartgummi und dergleichen [1]) hergestellt sein, lassen sich leicht zu sogenannten Controlthermometern einrichten. Will man z. B. in einem Zimmer nur zwischen 15 und 20° Wärme haben, so verbindet man zwei Stifte auf dem 15. und 20. Grade mit den gleichartigen Polen zweier Batterien, die den Metallzeiger *t* tragende Scheibe *s* aber mit den anderen Polen; es wird dann eines der beiden eingeschalteten Läutewerke in Gang gesetzt werden, sobald der Zeiger einen der beiden Stifte berührt.

Auf demselben Princip beruht das Zimmerthermometer von Steinhauser [2]) und das Taschenthermometer von Wrench [3]). Jurgensen [4]) schlug dagegen vor, ein genaues Chronometer mit entsprechendem Compensationspendel zu Temperaturbestimmungen zu benutzen.

Bei dem sogenannten Quadrantenthermometer, Fig. 21, ist der Compensationsstreifen *fgh* aus Stahl und (innen) Kupfer bei *f* befestigt. Bei wachsender

Fig. 20.

Fig. 21.



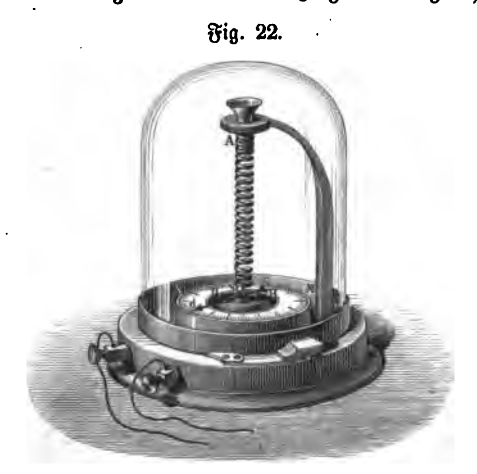
Temperatur streckt sich der Streifen etwas, das freie Ende *h* bewegt sich nach außen und zieht das untere Ende des um *o* drehbaren Hebels *aob* nach links, indem

[1]) Dingl. 1877, 225, 274. — [2]) Dingl. 1876, 221, *527. — [3]) Dingl. 1831, 41, *102. — [4]) Dingl. 1836, 62, 486; 1841, 82, 72.

der bei *h* befestigte stählerne Haken *t* bei *p* gegen eine Hervorragung des Hebels drückt. Durch diese Drehung des Hebels wird der gezahnte Bogen *cd* nach rechts gedreht, der Zeiger *z* in Folge dessen in der Richtung von *f* nach *g*. Bei abnehmender Temperatur bewirkt die Spiralfeder *s* eine Drehung in entgegengesetzter Richtung.

Bei Breguet's Thermometer [1]) sind drei Metallstreifen, Silber, Gold und Platin, so auf einander gelöthet, daß sich das Gold zwischen dem stärker ausdehnbaren Silber und dem weniger ausdehnbaren Platin befindet. Die zusammengelötheten Metallstreifen sind dann zu einem sehr dünnen Bande ausgewalzt. Das schraubenförmige Band wird nun mit dem einen Ende bei *A* (Fig. 22) befestigt, an das untere Ende *B* aber wird eine leichte Nadel *cd* angehängt, deren Spitze *d* sich über einen getheilten Kreis hinbewegen kann. Jede Temperaturveränderung bewirkt nun in Folge der ungleichen Ausdehnung der Metalle des Spiralbandes, daß sich dasselbe mehr auf- oder zuwindet, wodurch dann die Nadel *cd* um einen entsprechenden Winkel gedreht wird. Die Theilung des Kreises, über welche sich die Nadelspitze *d* hinbewegt, wird durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer hergestellt. Das Quecksilbergefäß *H* und die Klemmschrauben an dem abgebildeten Apparate sind für die Bestimmung der Wärmeentwickelung schwacher elektrischer Ströme bestimmt.

Fig. 22.



Clement [2]) verwendet für sein Pyrometer eine kurze Spirale aus Platin und Silber, Oechsle [3]) für seine verschiedenen Wärmemesser Spiralen aus Eisen und Messing, später ebenfalls aus Platin und Silber, Hipp [4]) für sein elektromagnetisches Registrirthermometer Stahl und Messing.

Um von Gewächshäusern, Trockenräumen, Wohnzimmern und dergleichen Räumen aus, deren Temperatur nur wenig schwankt, auf größere Entfernung hin ein etwaiges Ueberschreiten des zulässigen höchsten oder niedrigsten Wärmegrades elektromagnetisch anzuzeigen, sind derartige aus zwei zusammengelötheten Metallstreifen gebildete Thermometer sehr wohl brauchbar, nur müssen sie von Zeit zu Zeit nach einem Quecksilberthermometer neu eingestellt werden. Daß derartige Apparate aber für höhere Temperaturen völlig unbrauchbar sind, fand schon Prinsep [5]); wahrscheinlich bilden sich an der Berührungsstelle der Metalle

---

[1]) Annal. de chim. phys. 5, 312; Dingl. 1824, **13**, 250; 1860, **156**, 26. — [2]) Dingl. 1843, **88**, *241. — [3]) Dingl. 1836, **60**, 191; 1870, **195**, 313; 1871, **200**, *21. — [4]) Dingl. 1863, **168**, *241. — [5]) Dingl. 1828, **28**, 421.

Legirungen, welche die schon an sich ungleichartige Ausdehnung jedes einzelnen Metalles beim starken Erhitzen nur noch unregelmäßiger macht. Weinhold[1]) fand dem entsprechend, daß das Spiralpyrometer von Oechsle völlig unbrauchbar war, ich selbst habe die gleiche Erfahrung mit einer Spirale von Eisen und Kupfer gemacht.

Fig. 24.

Fig. 23.

h 100° 0° t

Von allen flüssigen Körpern für Thermometer ist das Quecksilber weitaus der wichtigste.

Zur Herstellung[2]) eines Thermometers wird an eine enge, der ganzen Länge nach gleichweite Glasröhre ein kugelförmiges oder cylindrisches Gefäß *t* angeblasen, oben aber ein weiteres mit einem Röhrchen endigendes Gefäß *h* angesetzt. Durch Erwärmen von *t* und *h* wird nun die Luft ausgedehnt, darauf die offene Spitze von *h* in Quecksilber getaucht, welches beim Abkühlen in das Gefäß angesogen wird. Dann wird die Vorrichtung wieder in aufrechte Stellung gebracht, *t* abermals erwärmt, so daß die Luft theilweise entweicht, beim Abkühlen aber eine entsprechende Menge Quecksilber aus *h* nach *t* übertritt. Schließlich wird der kleine Behälter *t* so weit erwärmt, daß das darin enthaltene Quecksilber siedet und so die letzte Luft austreibt, worauf sich beim Erkalten *t* nebst dem Rohr völlig mit Quecksilber füllt. Das Quecksilbergefäß wird dann noch etwas höher erhitzt, als die Temperatur beträgt, welcher das Thermometer später ausgesetzt werden soll, dann wird das Rohr oben zugeschmolzen, während es noch völlig mit Quecksilber angefüllt ist. (Fig. 23 und 24.)

Während somit diese Thermometer luftleer sind, schloß Geißler in Bonn in dieselben Stickstoff ein, um bei der Bestimmung hoher Temperaturen das Destilliren des Quecksilbers in den oberen Theil des Thermometers zu verhüten. Die Thermometer sind empfehlenswerth, gestatten allerdings nicht die Correction mit abgerissenem Quecksilberfaden.

Um das Quecksilberthermometer auch für Temperaturen bis 450° verwenden zu können, schlägt Person[3]) vor, über dem Quecksilber Luft von 4 Atmosphären Druck einzuschließen[4]).

---

[1]) Progr. d. Gewerbsch. Chemnitz 1873, 25. — [2]) Ueber die Herstellung der Quecksilberthermometer vergl. Körner: Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer (Jena 1824); Lutz: Anweisung Thermometer zu verfertigen (Nürnberg 1834); Dingl. 1850, **117**, 86; 1851, **122**, 317; 1853, **128**, 461; 1878, **230**, 192. — [3]) Compt. rend. **19**, 758. — [4]) Achard (Annal. chim. phys. III, 68, 52) will Metalllegirungen in Porzellangefäßen von der Form gewöhnlicher Quecksilberthermo-

Um dem Thermometer die in Fig. 23 (a. v. S.) angedeutete Eintheilung zu geben, sind zunächst die beiden festen Punkte zu bestimmen [1]). Zu diesem Zweck setzt man das Quecksilbergefäß und die Röhre, soweit das Quecksilber etwa bei 0° reichen wird, wie Fig. 25 andeutet, in fein zerstoßenes reines Eis oder auf reinen Flächen gesammelten Schnee. Ist so der Nullpunkt gefunden und bezeichnet, so befestigt man das Thermometer mittels eines Korkes, wie Fig. 26 zeigt, in einem langhalsigen Gefäß, in welchem destillirtes Wasser zum Sieden erhitzt wird, während der Dampf durch die Seitenöffnungen entweicht. Um etwaige

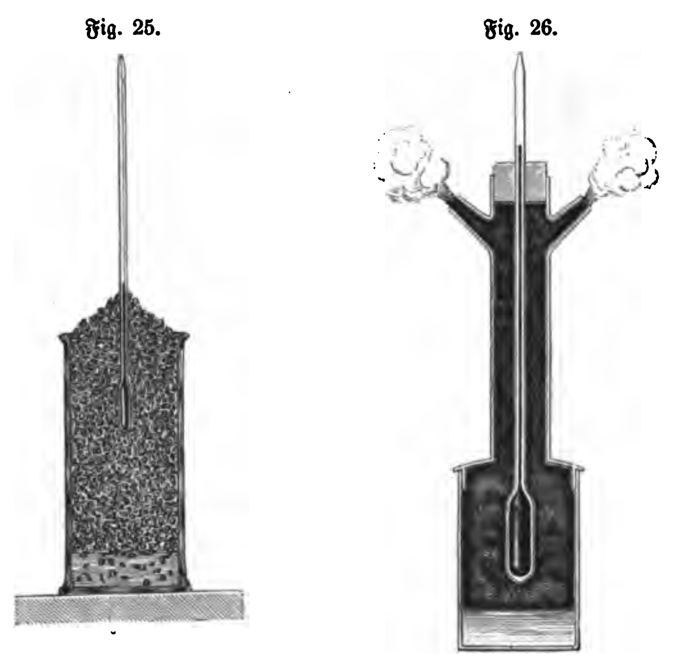


Fig. 25. Fig. 26.

Ausstrahlung zu verhüten, kann man den in Fig. 28 abgebildeten Apparat verwenden, während der in Fig. 27 dargestellte den Vorzug hat, daß er leicht zusammenzustellen ist, und daß die ganze Quecksilbersäule sich im Dampfe befindet, während man bei den anderen Apparaten für genaue Bestimmung eine entsprechende Correction für den überstehenden Quecksilberfaden anbringen muß. Ist bei dieser Bestimmung der Barometerstand nicht genau 760 mm, so ist zu berücksichtigen,

meter benutzen. Von anderer Seite (Dingl. 1829, 32, S. *355) wurde vorgeschlagen, in einer Kugelröhre aus Porcellan eine Legirung von Kupfer mit Zinn, die nach dem Wedgwood'schen Pyrometer bei 0° schmilzt, der zu messenden Temperatur auszusetzen; die Ausdehnung derselben wurde mittels einer in der Röhre luftdicht beweglichen Platinscheibe auf einen Zeiger übertragen. Der Apparat ist offenbar unbrauchbar.

[1]) Ueber die Bestimmung der festen Punkte vergl. namentlich Egen (Poggendorff's Annal. 9, 349; 11, 234 u. 517; 13, 33); Rudberg (daselbst 40, *60 und 572).

daß dann das Wasser nicht bei 100° siedet, sondern bei der in nachfolgender Tabelle (a. f. S.) angegebenen.

Sind so die festen Punkte bestimmt, so wird die Theilung direct auf das Glasrohr aufgetragen oder auf eine Porzellanplatte, welche mit dem Thermometer-

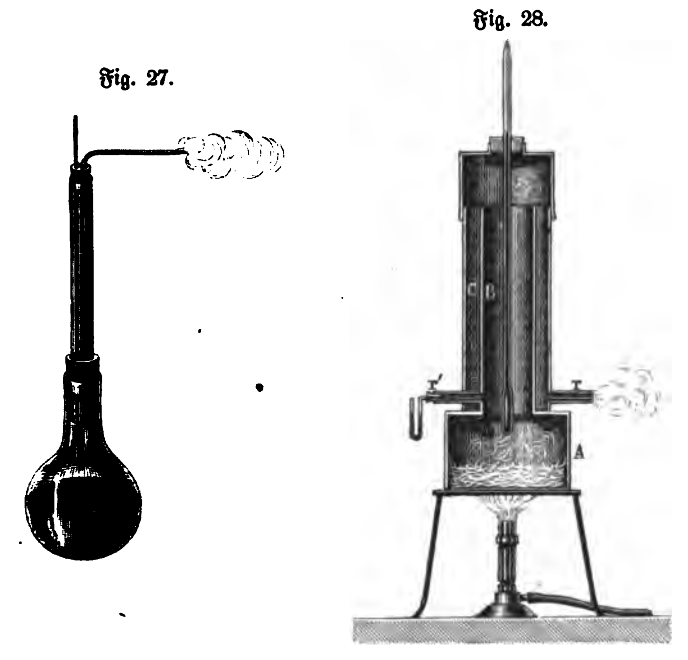


Fig. 27.

Fig. 28.

rohr zusammen in ein weiteres Rohr eingeschmolzen, bei gewöhnlichen Thermometern auch wohl durch eine Papierscala ersetzt wird.

Man wird nun wohl kaum je in die Lage kommen, sich selbst ein Quecksilberthermometer anfertigen zu müssen, wohl aber muß es sich Jeder, der genaue Versuche anstellen will, zur Regel machen, zunächst die Thermometer auf ihre Richtigkeit zu prüfen, um so mehr sich, wahrscheinlich in Folge des äußeren Luftdruckes, der Nullpunkt mit der Zeit ändert. Man bestimmt nun den Nullpunkt und Siedepunkt in der eben angegebenen Weise. Sodann sucht man durch Schütteln einen Quecksilberfaden von der Masse loszulösen und bestimmt durch Neigen des Thermometers die Anzahl der Theilstriche, welche er in verschiedenen Lagen einnimmt. Hat man z. B. für ein Thermometer den Eispunkt beim Theilstrich 0,6 (welches wir mit 0,6 p bezeichnen wollen), den Siedepunkt des Wassers für 760 mm bei 100,3 p gefunden, so trennt man eine Quecksilbersäule von nahezu 50° Länge ab und bringt sie allmälig mit ihrem unteren Ende genau auf 0,50 p, 100 p u. s. w. Man habe nun beobachtet, daß dabei eingenommen werden die Theile

von	0 p	50	100	150	200	250	300
bis	50,9 p	100,4	150,3	200,0	249,6	299,7	350,1

Siedetemperatur des Wassers.

Barometer mm	Siede-temperatur	Barometer mm	Siede-temperatur	Barometer mm	Siede-temperatur
720	98,49°	740	99,26°	760	100,00°
721	98,53	741	99,29	761	100,04
722	98,57	742	99,33	762	100,07
723	98,61	743	99,37	763	100,11
724	98,65	744	99,41	764	100,15
725	98,69	745	99,44	765	100,18
726	98,72	746	99,48	766	100,22
727	98,76	747	99,52	767	100,26
728	98,80	748	99,56	768	100,29
729	98,84	749	99,59	769	100,33
730	98,88	750	99,63	770	100,36
731	98,92	751	99,67	771	100,40
732	98,95	752	99,70	772	100,44
733	98,99	753	99,74	773	100,47
734	99,03	754	99,78	774	100,51
735	99,07	755	99,82	775	100,55
736	99,11	756	99,85	776	100,58
737	99,14	757	99,89	777	100,62
738	99,18	758	99,93	778	100,65
739	99,22	759	99,96	779	100,69

Indem man überall 0,9 abzieht, welche kleine Größe von allen Theilen der Röhre als gleich betrachtet werden kann, so findet man, daß einander gleich sind die Volumina

von	0	50	100	150	200	250	300
bis	50,0	99,5	149,4	199,1	248,7	298,8	349,2

Bezeichnen wir nun den mittleren Volumwerth eines Theiles zwischen 0 und 50 mit v, so ist also das Volumen von $0p$ bis $99{,}5\,p = 100\,v$, und da nach der Eis- und Siedepunktsbestimmung $0{,}6\,p$ bis $100{,}3\,p = 100$ Grade oder auch $0\,p$ bis $99{,}7\,p = 100$, also $0\,p$ bis $99{,}5\,p = 99{,}8$ Grade, so ist $100\,v = 99{,}8$ Grade und $v = 0{,}998$ Grade. Mit Hülfe dieser Angaben findet man leicht:

Von	bis	v	Von 0 p bis	v		Grade
0	50	50,0	50 p	50,0	=	49,9
50	100	50,5	100	100,5	=	100,3
100	150	50,6	150	151,1	=	150,8
150	200	50,9	200	202,0	=	201,6
200	250	51,3	250	253,3	=	252,8
250	300	51,2	300	304,5	=	303,9
300	350	50,8	350	355,3	=	354,6

Da nun dem Theilstrich + 0,6 die Temperatur 0, somit dem Theilstrich 0 die Temperatur — 0,6 Grade entspricht, so erhält man für das Thermometer folgende Correctionstabelle:

Theilstrich	Temperatur	Correction der Ablesung
0	0,6°	— 0,6
50	49,3	— 0,7
100	99,7	— 0,3
150	150,2	+ 0,2
200	201,0	+ 1,0
250	252,2	+ 2,2
300	303,3	+ 3,3
350	354,0	+ 4,0

Für einen zwischenliegenden Theilstrich findet man die Correction durch Interpolation aus der letzten Spalte [1]).

Da, wie namentlich Magnus [2]) und Regnault [3]) nachgewiesen haben, wegen der von einander abweichenden Ausdehnung verschiedener Glassorten, die von den Quecksilberthermometern angegebenen Temperaturen keineswegs immer übereinstimmen, so ist es dringend zu empfehlen, die für genaue Versuche bestimmten Quecksilberthermometer zunächst mit einem Luftthermometer (S. 36) zu vergleichen.

---

[1]) Vergl. F. Kohlrausch: Praktische Physik (Leipzig 1870); Bessel in Poggendorff's Annal. 6, 287; Oettingen: Correction der Thermometer (Dorpat 1865). Maret, Carl's Repert. 1879, 300, 677, 770. — [2]) Poggendorff's Ann. 57, 177. — [3]) Mémoir. de l'Acad. 21, 226; Dingl. 1870, 195, 57.

Thermometercorrection für den herausragenden Faden. Ist bei Temperaturbestimmungen der Quecksilberfaden nicht völlig der zu messenden Wärme ausgesetzt, so wird das Thermometer die richtige Temperatur nicht angeben. Bezeichnen wir nun die zu bestimmende Temperatur mit T, die mittlere Temperatur des hervorragenden Fadens mit τ, die Länge desselben mit l, so würde der Faden, wenn er ganz der zu messenden Temperatur ausgesetzt wäre, im Verhältniß $1 : 1 + \alpha\,(T - \tau)$ länger sein, wenn mit α der Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers im Glase bezeichnet wird. Anstatt der Länge l würde also die Länge $l + l\alpha\,(T - \tau)$ sein, oder die Anzahl der Grade, welche auf die Längeneinheit gehen, gleich ν gesetzt, so würde anstatt νl in Thermometergraden die Länge des Fadens $\nu l + \nu l \alpha\,(T - \tau)$ sein, oder das Thermometer würde, $\nu l = n$ gesetzt, um $n . \alpha\,(T - \tau)$ höher zeigen. Liest man also am Thermometer die Temperatur t ab, so ist die wirkliche Temperatur des betreffenden Raumes $T = t + n . \alpha\,(T - \tau)$ oder $= \frac{t - n\alpha\tau}{1 - n\alpha}$. Der mittlere Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers zwischen 0 und 100° zu 0,000181, der des Glases zu 0,000026 angenommen, wird $\alpha = 0{,}000155$. Die mittlere Temperatur τ des Fadens wird meist so bestimmt, daß man ein kleines Thermometer in der Nähe der Fadenmitte neben das in seiner Angabe zu corrigirende Thermometer hängt und die an jenem abgelesene Temperatur der Luft als den Werth von τ annimmt. Wegen der Leitungsfähigkeit des Quecksilberfadens ist der so bestimmte Werth von τ aber zu klein, der damit berechnete Werth von T daher zu groß. Für kürzere Quecksilberfäden setzt man zur Ausgleichung dieses Fehlers nach Holtzmann für α nur 0,000135 ein, für lange Fäden wird man bei wissenschaftlich genauen Versuchen nach der von Wüllner[1]) angegebenen Methode den Werth für τ für jedes Thermometer besonders bestimmen.

Bestimmung der Lufttemperatur. Von den Anwendungen des einfachen Thermometers ist die Bestimmung der Lufttemperatur besonders wichtig.

Der Physiker bezeichnet der mechanischen Wärmetheorie entsprechend die Temperatur eines Gases als lebendige Kraft der als Wärme aufgefaßten unsichtbaren Bewegungen der Molecüle derselben. Concreter aufgefaßt, ist Temperatur einer bestimmten Menge trocknen Gases die Größe, welche bei freier Expansion desselben neben dem äußeren Druck den Volum- und Dichtigkeitszustand desselben nach dem Dalton-Gay-Lussac'schen Gesetz bedingt, oder bei constantem Volum des Gases dem letzteren zufolge die Spannkraft desselben verändert. Abgesehen von gewissen Correctionen ist daher beim Luftthermometer die gehobene Quecksilbersäule im offenen Schenkel ein genaues Maß der Temperatur des im Gefäß bis zur Marke eingeschlossenen, auf constantem Volum erhaltenen Gases. In der Meteorologie hat man dem entsprechend unter der Temperatur der freien Luft nur die Größe zu verstehen, welche, abgesehen von beigemengtem Wasserdampf, Kohlendioxyd und dergleichen, allein neben dem äußeren Druck die jeweilige Dichtigkeit

---

[1]) Wüllner, Lehre von der Wärme (Leipzig 1871, S. 296).

derselben bedingt. Die Dichtigkeit der Luft unter Berücksichtigung der Druck- und Zusammensetzungsverhältnisse derselben wird also hier als Maß ihrer Temperatur dienen können.

Das Luftthermometer läßt nun zwar mit Sicherheit die Temperatur der in sein Gefäß eingeschlossenen Luft messen; man würde aber, wie H. Wild [1]) ausführt, im Allgemeinen sehr irren, wenn man annehmen wollte, daß dasselbe zugleich auch die Temperatur der freien das Gefäß umgebenden Luft anzeige. Die festen Substanzen, welche bei allen Thermometern, sei es, wie hier, als Gefäß zur Aufnahme der durch die Wärme sich ausdehnenden gasförmigen oder tropfbaren Flüssigkeit, sei es direct, wie bei den Metallthermometern, thermo-elektrischen Ketten oder den elektrischen Widerstandsthermometern, zur Anwendung kommen, besitzen alle ein viel größeres Absorptions- und Ausstrahlungsvermögen für die Wärmestrahlen, als die Luft, und, da sich jeder Körper durch gegenseitige Wärmestrahlung mit seiner ganzen Umgebung in Beziehung setzt, so kann es sehr leicht geschehen, daß der in die Luft eingetauchte thermometrische Körper in Folge dieser Verschiedenheit der Strahlung eine ganz andere Temperatur als jene hat.

Das einzige Mittel, die Temperatur der Luft frei von dieser Fehlerquelle zu bestimmen, besteht darin, ihre Dichtigkeit zu messen. Der Gewichtsverlust in Milligramm, welchen ein am einen Arm einer Wage angehängter Glasballon vom äußeren Volum V Liter in gewöhnlicher, Kohlensäure haltiger, feuchter Luft an einem H Meter über dem Meer und unter der Breite φ gelegenen Orte erleidet, ist gegeben durch:

$$G = V \frac{h - 0{,}378\, h'}{760\,(1 + 0{,}003665\, t)}\,(1293{,}03 - 3{,}32 \cos 2\varphi - 0{,}00027\, H),$$

wo h der auf 0° reducirte Barometerstand, h' die absolute Feuchtigkeit der Luft, beide in Millimeter, und t die gesuchte Temperatur der vom Glasballon verdrängten Luft ist.

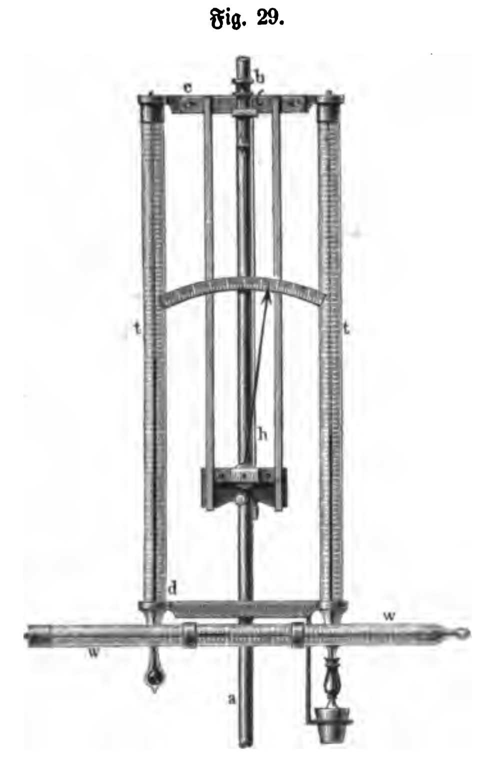
Da die Ausdehnung der Luft etwa 100 Mal so groß ist als die des Glases, so zeigt t die Temperatur der umgebenden Luft unabhängig von der etwa durch Strahlungseinflüsse geänderten eigenen Temperatur des Glasballon. Letztere beeinflußt nur das Volum V und kann leicht für sich bestimmt und in Rechnung gebracht werden. Setzt man nun $h = 760$ mm, $\varphi = 45°$, $H = 0$ und $V = 10$ l, so ergiebt sich $G = \frac{1 - 0{,}000497\, h'}{1 + 0{,}003665\, t}\, 12\,930$ mg. Hieraus folgt durch Differentiation mit genügender Annäherung: $dG = 12\,930 \times 0{,}000497\, dh'$ und $dG = 12\,930 \times 0{,}003665\, dt$.

Wenn also die Genauigkeit der Gewichtsbestimmung $dG = \pm$ 1mg ist, so wird man bei der Bestimmung der absoluten Feuchtigkeit einen entsprechenden Fehler $dh' = \pm\, 0{,}16$ mm begehen dürfen und die Temperatur der Luft mit einer Sicherheit von $dt = \pm\, 0{,}021°$ erhalten, da alle übrigen Größen [2]) des obigen

[1]) Dingl. 1879, 233, *400. — [2]) Wegen des wechselnden Sauerstoffgehaltes der Luft sind diese nicht so einfach zu bestimmen.

Ausdruckes mit großer Genauigkeit zu bestimmen sind. Das größte Hinderniß für die Ausführung dieser Methode der Temperaturbestimmung bildet jedenfalls die Bestimmung der absoluten Feuchtigkeit *h'*, die beim gegenwärtigen Zustand der Hygrometrie kaum mit einer Sicherheit von ± 0,16 mm zu erzielen ist. Aber auch dann, wenn diese Schwierigkeit überwunden sein wird, werden die schwierigen Operationen, welche diese Methode erfordert, nur eine Verwerthung derselben bei vereinzelten Fundamentaluntersuchungen gestatten.

Fig. 29.



Für gewöhnlich wird man daher doch Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur verwenden müssen. Um nun den störenden Einfluß der Sonnenstrahlen, sowie der Ausstrahlung gegen den kalten Weltraum und den festen Erdboden zu vemeiden, empfiehlt H. Wild an einem unten mit einer Schraube versehenen runden Eisenstabe *ab* (Figuren 29 und 30) mittels der beiden verschiebbaren Querstücke *c* und *d* die zwei Psychrometerthermometer *t*, das Haarhygrometer *h* und das Weingeist-Minimumthermometer *w* zu befestigen. Nach außen werden diese Instrumente von den zwei halb offenen Zinkblechcylindern *e* und *f* mit conischem Dach und nach innen zu ansteigendem conischen Boden umhüllt. Um bequem ablesen zu können, wird der äußere kreisförmige Cylinder *e* so gedreht, daß seine gegenüberliegenden Oeffnungen sich mit denen des inneren elliptischen Cylinders *f* decken, wie Fig. 30 zeigt, während sie in der übrigen Zeit zur Abhaltung der Strahlung so gestellt werden, daß die Oeffnungen des inneren durch die Wände des äußeren Cylinders verdeckt sind; dasselbe ist dann auch der Fall mit den entsprechenden Oeffnungen des conischen Daches und Bodens. Durch die breiten Zwischenräume zwischen den Cylindern sowohl an den Seitenwänden wie im Dach und Boden ist auch bei dieser Stellung für genügend freien Luftwechsel gesorgt. Das Gehäuse wird vor einem nach Norden gewendeten Fenster befestigt, oder in einer besonderen Holzhütte aufgestellt.

Nach den Versuchen von H. Wild erhält man mit diesem Thermometergehäuse die wahre Lufttemperatur mit einer Sicherheit von mindestens ± 0,1°;

ja selbst die relative Feuchtigkeit der Luft wird, wenn man außer der Temperatur auch diese bestimmen will, durch diese Vorrichtung im Durchschnitt bis auf 3 Proc. genau angegeben gegenüber einem frei aufgestellten Psychrometer. —

Zur Bestimmung der Temperatur der abziehenden Rauchgase von Dampfkesselfeuerungen und dergleichen verwende ich 0,7 m lange Quecksilberthermometer, bei denen die Gradeintheilung mit dem Nullpunkt erst 0,4 m vom unteren Ende anfängt. Dasselbe wird dann durch ein enges Loch im Mauerwerk direct in den Fuchs eingeführt und oben entsprechend abgedichtet. Man kann so die Schwankungen der Temperatur genau verfolgen, ohne das Thermometer herausziehen zu müssen.

Fig. 30.



Um die höchste und niedrigste Temperatur während eines gewissen Zeitraumes zu bestimmen ist noch heute das Thermograph von Rutherford[1]) (vergl. S. 4) vielfach im Gebrauch, welches aus zwei wagrecht angeordneten Thermometern besteht. Das Maximumthermometer ist ein Quecksilberthermometer, in dessen Röhre vor dem Quecksilber ein Eisenstäbchen liegt. Bei steigender Temperatur wird dieses Stäbchen vom Quecksilber vorgeschoben, bleibt aber beim Fallen liegen, giebt somit die höchste Temperatur an; durch Schütteln oder mittels eines Magneten kann es wieder an das Quecksilber zurückgeführt werden. Das Minimumthermometer ist mit Weingeist gefüllt, in welchem ein kleines Glasstäbchen liegt, das beim Sinken der Temperatur von dem Weingeist mitgenommen wird, beim Steigen aber liegen bleibt, somit die niedrigste Temperatur anzeigt. Walferdin[2]) hat ein Minimumthermometer angegeben, aus welchem beim Erwärmen eine entsprechende Quecksilbermenge austritt. Hennessy[3]) verbindet ein Quecksilberthermometer mit einer Vorrichtung, welche die Schwankungen der Temperatur selbstthätig aufzeichnet. Besonders eingehend bespricht Wildt[4]) derartige selbstregistrirende Thermometer.

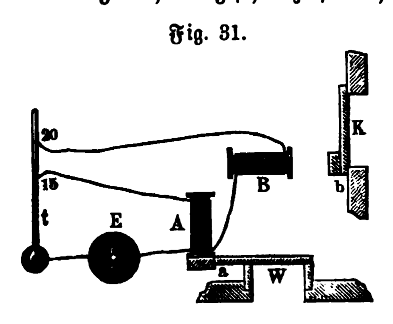
Um auch auf größere Entfernungen hin sofort erkennen zu können, ob in einem Zimmer, einem Trockenraume und dergleichen die Temperatur die zulässige höchste oder niedrigste Temperatur überschreitet, kann man, wie dieses u. A.

---

1) Gilbert's Ann. 17; vergl. Dingl. 1868, 188, 500. — 2) Dingl. 1836, 61, 317. — 3) Dingl. 1846, 99, *38. — 4) Wildt, Die selbstregistrirenden Instrumente (München 1866). Müller, Kosmische Physik (Braunschweig 1872), S. 433.

Morin [1]) und Kohlfürst [2]) vorgeschlagen haben, Leitungsdrähte für einen galvanischen Strom einschmelzen, und zwar einen in die Thermometerkugel, den anderen bei dem höchsten und niedrigsten Punkt, so daß ein eingeschaltetes Läutewerk ein entsprechendes Signal giebt (vergl. S. 16). F. Kohlrausch [3]) macht den Vorschlag, ein solches Thermometer zur Selbstregulirung der Temperatur überall da zu benutzen, wo Luftheizung eingerichtet ist. Soll z. B. die Temperatur zwischen 15° und 20° gehalten werden, so werden in das Quecksilberthermometer *t* (Fig. 31) drei Leitungsdrähte eingeschmolzen, welche zu dem constanten galvanischen Elemente *E* und den beiden Elektromagneten *A* und *B* führen, denen die entsprechenden Anker *a* und *b* gegenüberstehen. Steht die Temperatur, wie dieses die schematische Figur andeutet, zwischen 15° und 20°, so ist sowohl die Oeffnung *W* für warme Luft, als die für kalte Luft *K* durch die mit den Ankern *a* und *b* verbundenen Klappen geschlossen. Sinkt die Temperatur unter 15°, so wird der Strom unterbrochen, der Elektromagnet *A* läßt den Anker *a* los, so daß die Klappe sich von der warme Luft zuführenden Oeffnung *W* hebt. Steigt dagegen die Temperatur über 20°, so bleibt *W* geschlossen, durch Schließung der zweiten Leitung wird aber der Anker *b* angezogen, so daß nun durch die Oeffnung *K* kalte Luft eintreten kann. — Denselben Gedanken verfolgt Symonds (D. R. P. 7198) bei seiner elektrisch selbstthätigen Ventilationsvorrichtung.

Fig. 31.



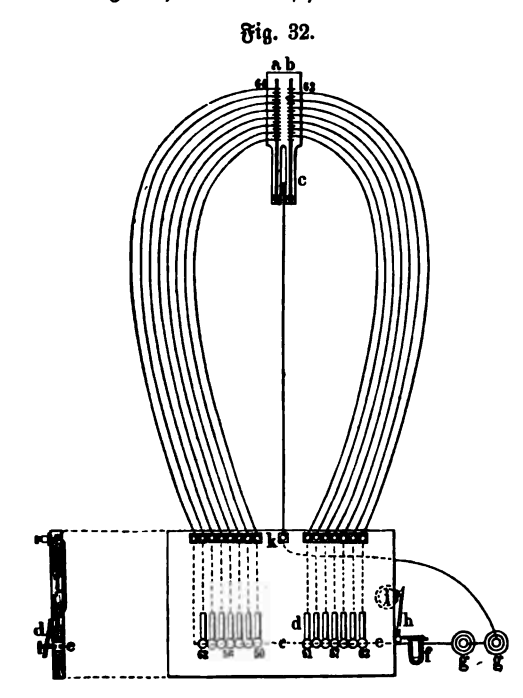
Folgende Vorrichtung von A. Eichhorn (D. R. P. Nr. 6937) soll auf größere Entfernungen hin die Temperatur genau angeben. Die beiden Thermometer *a* und *b* (Fig. 32) haben in dem Theile der Scalen, innerhalb welchem die dem beabsichtigten Zweck entsprechende Temperatur wechseln kann, eingeschmolzene Platindrähte für eine Darre z. B. zwischen 50 und 64°. Das Thermometer *a* zeigt die Platindrähte eingeschmolzen bei 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64°, das Thermometer *b* bei 51, 53, 55, 57, 59, 61 und 63°. Außerdem ist unterhalb der Scalen noch ein Draht *c* eingeschmolzen, welcher mit dem Quecksilber der Thermometer immer in Berührung bleibt. Sämmtliche Drähte führen nach den Klemmschrauben eines Brettes, auf welchem Tasten *d* angebracht und auf deren Knöpfe die Zahlen aufgetragen sind, welche den Graden entsprechen, mit denen sie in metallisch leitender Verbindung stehen. Der nebenstehende Durchschnitt durch das Brett zeigt die leitende Verbindung von den Klemmschrauben nach den Tasten *d*, welche ähnlich wie Federn oder in beliebiger anderer Weise angeordnet sein können. Ein Draht *e* ist quer unter die Tasten hinweggeführt und kann mit diesen durch Niederdrücken derselben in leitende Verbindung gebracht werden. Derselbe geht über einen Elektromagneten *f* nach den Elementen *g g*. Ein Win-

---

[1]) Compt. rend. 1864, 59, 1082. — [2]) Dingl. 1874, 213, *390; Pogg. Ann. 125, 626. — [3]) Dingl. 1865, 175, *389.

kelhebel *h* wird durch den Elektromagneten *f* bei Schließung des Stromes aus den Zähnen des Rades *i* eines beliebigen Klingelwerkes ausgerückt und dieses dadurch in Thätigkeit gesetzt. Vom Platindraht *c* der beiden Thermometer führt die Leitung nach der Klemmschraube *k* und von da nach dem Element *g*. Hieraus geht hervor, daß die Leitungen an zwei Stellen unterbrochen sein können, erstens an den in den Scalen eingeschmolzenen Platindrähten, wenn die Quecksilbersäule im Thermometer noch nicht bis zu denselben gestiegen ist, und zweitens an den Tasten.

Fig. 32.



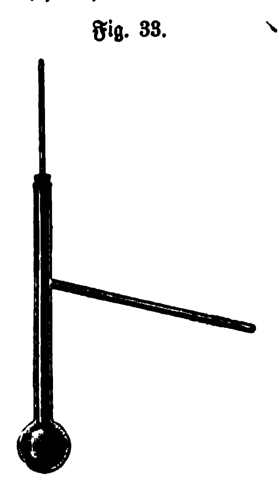
Angenommen, die Temperatur stehe auf 57,5° und der Heizer will den Stand des Thermometers vom Feuerungsraume aus erkennen, so drückt er der Reihe nach von links nach rechts die Tasten nieder. Die Tasten 62, 60 und 58 werden die Schließung des Stromes noch nicht vermitteln; sowie aber die Taste 56 niedergedrückt wird, schließt sich der von den Elementen *g* ausgehende Strom, was sich durch Auslösen des Klingelwerkes zu erkennen giebt. Der Heizer weiß nun, daß das Quecksilber zwischen 56 und 58 steht. Um die Höhe nun noch genauer zu bestimmen, braucht er nur von den ungeradzahligen Tasten, welche rechts auf dem Brette angeordnet sind, die mit 57 bezeichnete niederzudrücken. Dieselbe wird bei dem hier angenommenen Stand von über 57° angeben, d. h. das Läutewerk wird wiederum in Thätigkeit kommen.

Der Platindraht, welcher bei 64° in der Scala eingeschmolzen ist, ist nicht mit einer Taste *d*, sondern direct mit dem Draht *e* verbunden. Die Leitung ist also hier nur einmal und zwar in der Thermometerröhre unterbrochen. Steigt das Quecksilber bis zur Maximaltemperatur (im vorliegenden Fall ist 64° dafür angenommen worden), so circulirt der Strom vom Element *g* über die Klemme *k* durch die Quecksilbersäule des Thermometers *a*, den Platindraht 64 und seine Leitung, Draht *e* und Elektromagnet *f*. Dieser löst wieder den Winkelhebel *h* aus, und der durch ein beliebiges Uhrwerk getriebene Klingelapparat arbeitet so lange, bis die Maximaltemperatur wieder gesunken ist. Die Maximaltemperatur zeigt sich also stets selbstthätig und die selbstthätige Anzeige einer Minimaltemperatur läßt sich durch ähnliche Anordnung erreichen.

Soll die Temperatur einer Flüssigkeit bestimmt werden, so ist zunächst für eine gute Durchmischung zu sorgen. Ein praktisches Thermometer zur Bestimmung der Meerestemperatur in beliebigen Tiefen haben Negretti und Zambra[1]) angegeben.

Schmelzpunktbestimmung. Zur Bestimmung des Schmelzpunktes saugt man den geschmolzenen Körper in Haarröhrchen auf, läßt völlig erstarren, was oft mehrere Tage erfordert, und verbindet das Röhrchen mittelst eines Stückchen Gummischlauches mit dem Quecksilbergefäß eines Thermometers. Nun taucht man diese Vorrichtung in ein Becherglas mit Wasser oder Paraffin, erwärmt langsam unter fortwährendem Umrühren mit dem Thermometer und beobachtet die Temperatur, bei welcher der Körper durchsichtig wird. Um speciell den Schmelzpunkt der Fette zu bestimmen, überzieht Pohl[2]) die Thermometerkugel mit Fett, taucht in langsam erwärmtes Wasser und nimmt die Temperatur als Schmelzpunkt an, bei welcher sich das Fett ablöst. Bouis[3]) senkt ein an beiden Seiten offenes Röhrchen mit Fett in Wasser und beobachtet die Temperatur, bei welcher das geschmolzene Fett von dem Wasser nach oben getrieben wird. Wimmel[4]) zeigt, daß einige Fette erst mehrere Grade über ihren Schmelzpunkt durchsichtig werden, daß demnach die genannten Schmelzpunktbestimmungen keine übereinstimmenden Resultate geben. Rüdorff[5]) senkt das Thermometer in das Fett selbst und bezeichnet als Schmelzpunkt diejenige Temperatur, bei welcher Wärme latent wird und als Erstarrungspunkt die höchste Temperatur, bei welcher die latente Wärme frei wird. Löwe[6]) taucht einen mit dem zu untersuchenden Fett überzogenen dicken Platindraht in das langsam erwärmte Quecksilberbad, welches mit dem positiven Pole eines galvanischen Elementes verbunden ist, während der Platindraht mit dem negativen Pole in leitender Verbindung steht. Sobald das Fett schmilzt, wird es nach oben getrieben, dadurch die leitende Verbindung hergestellt, und durch den Strom eine Glocke in Bewegung gesetzt. Wolf[7]) zeigt, daß dieses Verfahren bei Anwendung eines feinen Platindrahtes sehr genaue Resultate giebt.

Fig. 33.

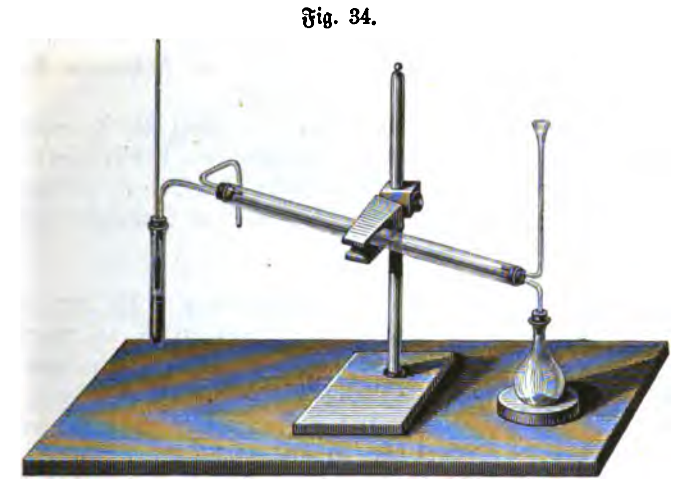


Bestimmung des Siedepunktes von Flüssigkeiten. Man kann zu diesem Zweck den in Fig. 27, S. 19 abgebildeten Apparat verwenden. Stehen nur geringe Flüssigkeitsmengen zu Gebote, so nimmt man statt dessen den in

[1]) Dingl. 1878, 203, *33; 1879, 232, *416. — [2]) Dingl. 1855, 135, 141. — [3]) Annal. Ch. Pharm. 44, 152. — [4]) Dingl. 1868, 188, 421; 1871, 200, 494. — [5]) Dingl. 1870, 198, 531. — [6]) Dingl. 1871, 201, *250. — [7]) Dingl. 1875, 217, 411; 1876, 220, *529.

Fig. 33 dargestellten kleinen Glasapparat, der, wenn man die Flüssigkeit wiedergewinnen will, mit einem kleinen Kühler verbunden wird, wie Fig. 34 zeigt;

Fig. 34.



das hier angewendete Reagensgläschen ist weniger empfehlenswerth, weil hier das Thermometer nicht so tief in den Dampf eintaucht, als dort (S. 22).

Fig. 35.

Will man bei Flüssigkeitsgemischen, z. B. Erdöl, gleichzeitig bestimmen, wie viel dasselbe von den bei der betreffenden Temperatur übergehenden Bestandtheilen

enthält, so setzt man nach dem Vorschlage von Wurtz auf die das Gemisch enthaltende Kochflasche *A* (Fig. 35, a. v. S.) einen Röhrenaufsatz *a c* mit zwei oder mehreren kugelförmigen Erweiterungen, so daß die schwerer flüchtigen Bestandtheile in den Kolben zurückfließen, während sich nur die flüchtigeren Antheile in der Vorlage *B* sammeln.

Fig. 36.

b

Noch vollständiger gelingt die Trennung, wenn man nach dem Vorschlage von Linnemann[1]) in die Glasröhre, in welcher die Dämpfe aufsteigen, eine Anzahl kleiner Näpfchen von Platingewebe *b* einsetzt, wie Fig. 36 zeigt.

Drehthermometer. Fig. 37 stellt das Thermometer von Kunze[2]) in der Vorderansicht, Fig. 38 im Verticaldurchschnitt dar, welches in ähnlicher Weise, wie dieses bereits Mageough[3]) und Bertora[4]) ausführten, die Ausdehnung des Quecksilbers beim Erwärmen durch Schwerpunktsverschiebung mißt, und zwar unter Anwendung einer um eine Horizontalachse drehbaren scheibenförmigen Kapsel. Diese Kapsel besteht aus zwei Theilen *A* und *B* und schließt zwei concentrische Hohlräume ein, den scheibenförmigen Raum *C* und den ringförmigen Canal *D* (Fig. 38 und 39), welch letzterer durch eine beim Verschrauben der beiden Hälften *A* und *B* hineingepreßte Kautschukscheidewand *d f* (Fig. 39) unterbrochen ist. Dicht neben dieser Scheidewand befindet sich auf der einen Seite eine Oeffnung *d'*, welche den Ringcanal mit dem Hohlraum *C*, und auf der anderen Seite eine Oeffnung *f'*, welche ihn mit der äußeren Luft in Verbindung setzt.

Die ganze Anordnung ist, wie die Skizze (Fig. 40) näher veranschaulicht, dem Wesen nach nichts anderes, als ein um seine Achse drehbares cylindrisches Gefäß *C* mit einer aus demselben tretenden, an ihrem Ende offenen concentrischen Röhre *D*. Durch Hebung oder Senkung des Gegengewichtes *q* mittels der Mikrometerschraube *m* kann die Kapsel auf die stabile oder labile Gleichgewichtslage eingestellt werden. Nachdem bei einer gewissen Temperatur der ganze Raum *C* und der halbe Ringcanal *D* mit Quecksilber gefüllt worden ist, so wird das System bei dieser Temperatur im Gleichgewichte beharren, bei jeder Temperatur-

[1]) Annal. Ch. Pharm. 160, *195. — [2]) Dingl. 1879, 233, *121. — [3]) Dingl. 1828, 28, 485. — [4]) Dingl. 1869, 192, *202.

steigerung aber im Sinne eines Uhrzeigers, bei jeder Temperaturabnahme in entgegengesetzter Richtung sich drehen. Die Größe des Drehungswinkels, welche

Fig. 37. Fig. 38.

von der Schwerpunktslage der Kapsel und von den Dimensionen der Hohlräume abhängt, und mit ihr die Zeigerdrehung, wird dadurch vervielfältigt, daß ein am Umfange der Scheibenkapsel befestigtes Zahnsegment *E* in ein Rad *F* greift,

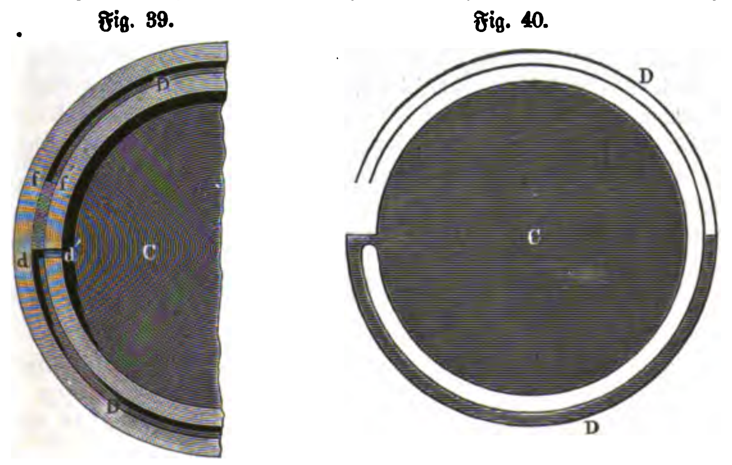


Fig. 39. Fig. 40.

welches seine Bewegung auf das Getriebe des über einer thermometrischen Scala laufenden Zeigers *z* überträgt. So sinnreich derartige Anordnungen auch sind, so wenig werden sie auf irgend welche Verbreitung rechnen dürfen. Dasselbe gilt von dem Registrirthermometer von Mangon [1]).

Gewichtsthermometer. Magnus [2]), Kapeller [3]) und Regnault [4]) haben Thermometer angegeben, bei denen die Temperatur aus der Menge des austretenden Quecksilbers berechnet wird. Hat man z. B. ein Glasgefäß, welches in eine feine, gekrümmte Spitze ausgezogen ist (Fig. 41) mit Quecksilber gefüllt, so fließt beim Erwärmen eine entsprechende Menge Quecksilber heraus, welche genau gewogen die zur Berechnung der Temperatur nöthigen Anhaltspunkte giebt.

Fig. 41.

Regnault [5]) macht den Vorschlag, in eine Flasche aus Platin, Eisen oder Porzellan, von etwa 0,5 bis 1 l Inhalt, 15 bis 20 g Quecksilber zu bringen und nun die Flasche auf die zu messende Temperatur zu erhitzen. Der Quecksilberdampf treibt die Luft aus, so daß man nach dem Herausnehmen und raschen Abkühlen der Flasche aus der Menge des zurückgebliebenen Quecksilbers die Temperatur berechnen kann. Oder aber die Flasche wird mit Wasserstoff gefüllt, dieses dann, wenn die zu messende Temperatur erreicht ist, verdrängt, durch Kupferoxyd verbrannt und das gebildete Wasser gewogen. Deville und Troost [6]) wollen in gleicher Weise ein ähnliches Gefäß mit Joddampf füllen und aus dessen Menge die Temperatur berechnen. Aus leicht erklärlichen Gründen haben diese Vorschläge keinen Beifall gefunden.

Luftthermometer. Hartig [7]) hat bei seinen Verdampfungsversuchen die Temperatur der abziehenden Rauchgase dadurch bestimmt, daß er ein mit Luft gefülltes Rohr der zu messenden Wärme aussetzte, zuschmolz und die Spitze unter Quecksilber öffnete. Die Menge des eindringenden Quecksilbers ergab die Ausdehnung der Luft, aus welcher dann die Temperatur berechnet wurde. Dasselbe Verfahren wurde von Mitscherlich [8]) angewendet.

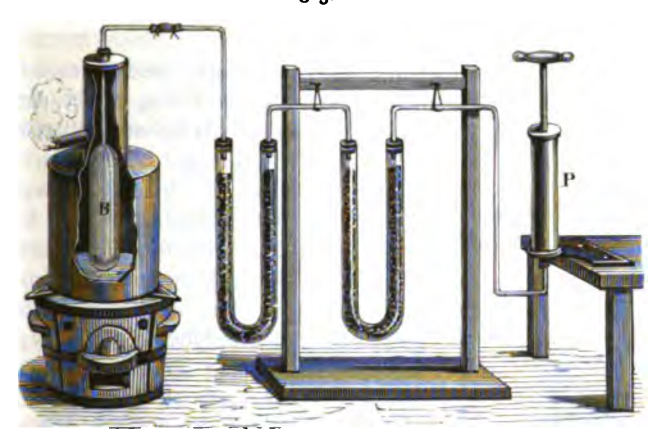
Rudberg und ähnlich Dulong und Petit verbanden das in ein enges Rohr endigende Gefäß *B*, wie Fig. 42 zeigt, mit Chlorcalciumröhren, pumpten mit der Handluftpumpe *P* wiederholt die Luft aus und ließen sie durch das Chlorcalcium getrocknet wieder eintreten. Das so mit völlig trockner Luft gefüllte Gefäß *B* wurde nun in den Raum gebracht, dessen Temperatur bestimmt werden sollte, und, nachdem es die Wärme hier angenommen hatte, wurde die Spitze des damit verbundenen Glasrohres zugeschmolzen. Es wurde dann so durch ein Metallschälchen *A* (Fig. 43) gesteckt, daß die Spitze in das Quecksilbergefäß *C* tauchte, diese dann abgebrochen und der Behälter *B* mit Eis umgeben. Durch Wiegen wurde

---

1) Dingl. 1878, **228**, 90. — 2) Pogg. Ann. **40**, *139. — 3) Dingl. 1847, **104**, 75. — 4) Dingl. 1850, **117**, 86. — 5) Dingl. 1850, **117**, 86; 1861, **162**, *362. — 6) Annal. chim. phys. III., **68**, 257. — 7) Untersuchung über die Heizkraft der Steinkohlen, S. 18. — 8) Pogg. Ann. **29**, 203.

nun das absolute Gewicht p des eingedrungenen Quecksilbers bestimmt, dessen Volumen der beim Erhitzen entwichenen Luft entsprach. Der Behälter wurde darauf

Fig. 42.

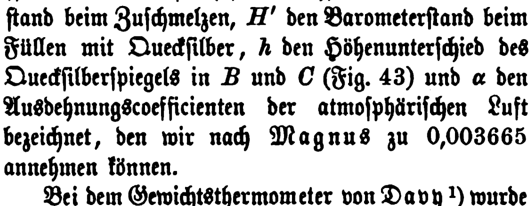


völlig mit Quecksilber gefüllt und bei 0° dessen Gewicht P bestimmt. Die gesuchte Temperatur findet man aus der Gleichung:

$$PH(1 + kt) = (P - p)(H' - h)(1 + \alpha t),$$

wenn k den Ausdehnungscoefficienten des Glases (0,000025), H den Barometerstand beim Zuschmelzen, H' den Barometerstand beim Füllen mit Quecksilber, h den Höhenunterschied des Quecksilberspiegels in B und C (Fig. 43) und α den Ausdehnungscoefficienten der atmosphärischen Luft bezeichnet, den wir nach Magnus zu 0,003665 annehmen können.

Fig. 43.



Bei dem Gewichtsthermometer von Davy [1]) wurde durch die sich ausdehnende Luft Quecksilber verdrängt, so daß der Apparat entsprechend leichter wurde. Letztere Apparate bilden den Uebergang zu den Luftthermometern, bei denen die scheinbare Ausdehnung der Luft entweder direct gemessen, oder aus der Druckveränderung berechnet wird.

Schmidt (1805) verwendete eine Platinkugel mit langem Rohr, welches luftdicht in eine Flasche mit Wasser tauchte; die ausgedehnte Luft drückte auf das Wasser, welches in einer engen Röhre aufstieg [2]). Pouillet [3]) verwandte ebenfalls ein mit Luft gefülltes Plantigefäß, berechnete aber die Temperatur aus der Luftmenge,

[1]) Dingl. 1832, 46, *249. — [2]) Gehler's Wörterbuch Bd. 7, *997. — [3]) Dingl. 1837, 63, 220; Pogg. Ann. 39, 567; 41, 144.

welche in ein mit Quecksilber gefülltes Glasrohr überging. Regnault[1]) und Schinz[2]) zeigten bereits, daß dieses Verfahren für hohe Temperaturen wenigstens nicht empfindlich genug ist. Noch weniger empfehlenswerth sind die Luftthermometer mit verschiebbarem Quecksilberindex, wie sie Penot[3]), Gay-Lussac[4]), Eyk[5]) und Zabel[6]) angegeben haben.

Berthelot[7]) hat ein Luftthermometer angegeben, welches namentlich für Laboratorien brauchbar ist. Dasselbe besteht aus einem kleinen, cylindrischen, kaum 4 ccm fassenden Luftbehälter B (Fig. 44) aus Glas, Porzellan oder Silber. Derselbe ist mit dem 1,2 m langen Capillarrohre $t\,l$ von nur 0,2 mm innerer Weite, von dessen Gleichmäßigkeit man sich vorher überzeugt hat, verbunden, welches in das Quecksilbergefäß Q endigt. Der horizontale Theil der Capillarröhre wird durch die Hülse C unterstützt, der senkrechte Theil l ist mittels der Plättchen p an die hölzerne Rückwand R befestigt, welche durch den Ansatz A von der Säule T mit entsprechend schwerem Untersatz P getragen wird.

Fig. 44.



Zum Gebrauch wird der Apparat zunächst in entsprechender Weise mit trockner Luft gefüllt (S. 33), dann wird die Kugel Q halb mit Quecksilber gefüllt und mit einer Luftpumpe verbunden, mittels der so viel Luft ausgepumpt wird, daß, nachdem B in Eis gestellt und Q wieder mit der Luft verbunden ist, das Quecksilber bis zum Nullpunkt aufsteigt, der durch Verschieben der Scala genau eingestellt werden kann. Durch das Einsenken des Thermometergefäßes B in Wasserdampf, Quecksilber- und Schwefeldampf werden dann eine Reihe fester Punkte gewonnen, nach denen die Scala hergestellt wird. Durch entsprechende Abänderung läßt sich dieses Luftthermometer leicht für niedrige und hohe Temperaturen einrichten.

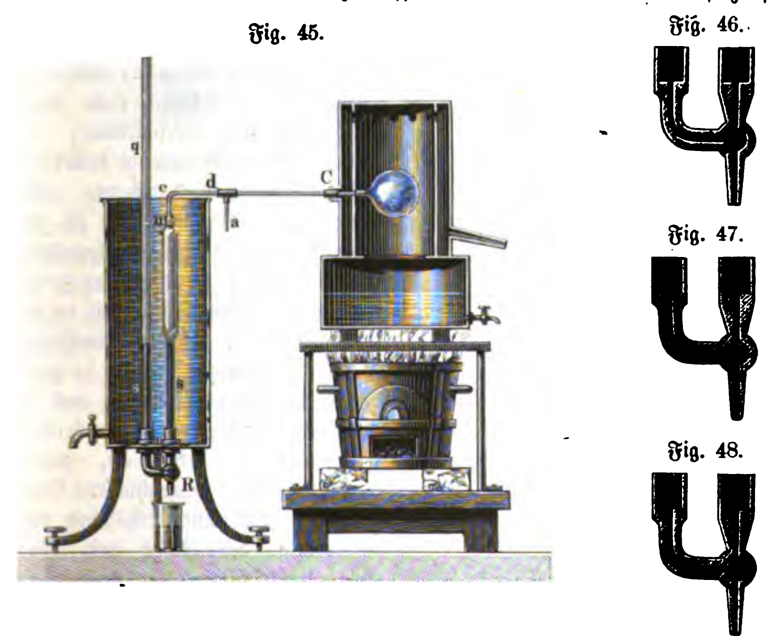
---

1) Dingl. 1850, **117**, 84. — 2) Dingl 1865, **177**, *99. — 3) Dingl. 1831, **40**, *93. — 4) Dingl. 1833, **48**, *347. — 5) Dingl. 1862, **166**, *28. — 6) Dingl. 1870, **195**, *236. — 7) Dingl. 1868, **188**, *257; 1869, **191**, 455.

Aehnlich ist das von Hallauer [1]) für Dampfkesselfeuerungen verwendete Luftpyrometer, nur nimmt dieser ein mit Stickstoff gefülltes Kupfergefäß. Für derartige Zwecke sind solche Apparate aber sehr wenig geeignet.

Genauer noch ist das Verfahren, die Temperatur aus der Druckzunahme bei unverändertem Volumen zu bestimmen, wie dieses Regnault [2]) u. A. ausführten. Bei dem Apparate von Regnault ist die Luft in einem Glasballon enthalten, der durch eine sehr enge Röhre *Cn* (Fig. 45) mit dem zweischenkligen Manometer *nRq* verbunden ist. Um nun zunächst den Ballon mit trockner Luft zu füllen,

Fig. 45. Fig. 46. Fig. 47. Fig. 48.



wird der Dreiweghahn *R* in die Stellung Fig. 46 gebracht, dann saugt man mittels einer mit dem Röhrchen *a* verbundenen Luftpumpe die Luft aus und läßt durch ein Chlorcalciumrohr wieder Luft eintreten. Ist so der Ballon mit trockner Luft gefüllt, so wird die Kugel mit Eis umgeben und in den offenen Schenkel *q*, nachdem dieser durch die in Fig. 48 angedeutete Stellung des Dreiweghahnes mit dem anderen Schenkel verbunden ist, so lange Quecksilber eingegossen, daß es genau bis zur Marke *n* reicht, worauf das Röhrchen *a* zugeschmolzen wird. Sobald nun der Ballon erwärmt wird, so sucht sich die eingeschlossene Luft auszudehnen, übt dem entsprechend einen Druck auf die Quecksilbersäule aus, so daß man in das Rohr *q* Quecksilber nachgießen muß, um die Luft wieder auf ihr ursprüngliches Raummaß zusammenzupressen. Aus dieser Druckzunahme wird dann die Temperatur in der bekannten Weise berechnet.

---

[1]) Dingl. 1875, 215, *516. — [2]) Dingl. 1850, 117, 84; 1870, 195, 58; vergl. auch Magnus in Pogg. Ann. 55, *9.

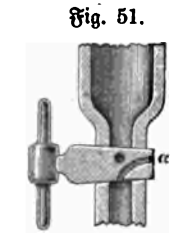
Jolly [1]) hat diesen Apparat wesentlich verbessert; die Anordnung seines Luftthermometers ist aus Fig. 49 leicht zu erkennen. Zwei innen gleich weite Glasröhren *a* und *b*, von denen die eine durch die Capillarröhre *n* mit der Glaskugel verbunden ist, stehen mit einander durch die mit Quecksilber gefüllte Kautschukröhre *k* in Verbindung. Durch das Quecksilber ist das in der Kugel, der Capillarröhre und der Glasröhre enthaltene Gas abgesperrt, die andere Röhre ist offen. Beide Röhren sind durch einen Schlitten verschiebbar, der mittels Klemmschraube in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Am oberen Ende der Röhre *b* ist im Innern eine Glasspitze angeschmolzen, wie dieses Fig. 50 deutlicher zeigt. Hat man die Röhre *a* so weit in die Höhe geschoben, daß das Quecksilber in *b* die Glasspitze berührt, so giebt der Höhenunterschied von *a* und *b*, mehr dem am Barometer abzulesenden Luftdruck, den Druck an, unter welchem sich das eingeschlossene Gas befindet. Da eine Erhöhung der Temperatur des Gases auch seine Spannkraft steigert, so muß man dann die Röhre *a* weiter in die Höhe schieben, damit das Quecksilber wieder die Spitze berühre. Die genaue Einstellung wird wesentlich durch die Mikrometerschraube *c* am unteren Ende der Röhre *a* erleichtert. Der Druck, welchen das Gas bei dieser höheren Temperatur besitzt, wird wie im ersteren Falle abgelesen und ist zu diesem Zwecke auf dem Stabe *AB* eine Millimetertheilung auf einem Silberspiegel aufgetragen. Die Röhre *b* ist an ihrem unteren Ende durch eine Ueberwurfschraube mit dem Stahlstück verbunden, an welchem die Kautschukröhre befestigt ist, so daß man sie abschrauben kann, während alles Uebrige ungeändert bleibt. Zur Füllung des Apparates mit

Fig. 49.

[1]) Pogg. Ann., Jubelbd. S. *82.

trockner Luft wird mittels dieser Ueberwurfschraube die Röhre b mit einem im Teller der Luftpumpe mündenden Rohr verbunden. Die Kugel wird nun 10 bis 12 mal ausgepumpt und mit Luft gefüllt, die durch Kali von Kohlensäure, durch feste Phosphorsäure von Wasser völlig befreit ist. Mittels des am unteren Ende des Rohres b befindlichen Hahnes, den Fig. 51 im vergrößerten Durchschnitt zeigt, wird nach erfolgter Füllung die Röhre abgeschlossen, dann wird sie abgeschraubt und mit der Kautschukröhre verbunden. Nun bringt man durch Aufwärtsschieben der Röhre a das Quecksilber bei α zum Ausfluß, dreht, wenn die ersten Tropfen ausgetreten sind, den Hahn um 90° und verbindet so die Röhren a und b.

Fig. 50. Fig. 51.



Der Apparat ist nun zum Gebrauch fertig. Man bringt die Kugel bis zu einer Marke n an der Capillarröhre in zerstoßenes Eis, dann bis zur gleichen Marke in den Raum, dessen Temperatur bestimmt werden soll. Wenn in beiden Fällen das Quecksilber bis zur Berührung der Spitze gebracht war, so erhält man die Spannungen d und D des abgesperrten trocknen Gases bei der Temperatur Null und der gesuchten Temperatur T. Ist vorher das Volumen V der Kugel bis zur Marke n und das Volumen v der Capillarröhre sammt dem der Kuppe mit der Glasspitze vorher bei 0° genau bestimmt, so erhält man nach dem Dalton-Gay-Lussac'schen Gesetz:

$$Vd + \frac{vd}{1 + \alpha t} = VD\,\frac{(1 + \gamma T)}{(1 + \alpha T)} + \frac{vD}{1 + \alpha t_1},$$

wo α den Ausdehnungscoefficienten der Luft, γ den des Glases [1]), t die Temperatur der Capillarröhre bei der Bestimmung des Druckes d, t_1 dieselbe bei der Bestimmung des Druckes D, T die Temperatur des Gases der Kugel unter dem Drucke D bezeichnet. Aus obiger Gleichung erhält man nun die gesuchte Temperatur:

$$T = \frac{D - d + \frac{v}{V}\left(\frac{D}{1 + \alpha t_1} - \frac{d}{1 + \alpha t}\right)}{\alpha\left[d - \frac{v}{V}\left(\frac{D}{1 + \alpha t_1} - \frac{d}{1 + \alpha t}\right)\right] - \gamma D}.$$

Für den Gebrauch empfiehlt es sich, in einer Tabelle die den Werthen von D, t und t_1 entsprechenden Temperaturen zusammenzustellen, worauf sich der Apparat auch ganz besonders dazu eignet, um die Angaben des Quecksilberthermometers auf die des Luftthermometers zu reduciren (S. 21). Für ein solches Luftthermometer, mit den Constanten $\log \frac{v}{V} = 0{,}94528 - 3$ und $\log \gamma = 0{,}44436 - 5$, bei dem der Druck d der bis zur Glasspitze abgesperrten Luft bei 0° 760,08 mm war, wurde z. B. die folgende Tabelle berechnet.

---

[1]) Jolly fand für die von ihm verwendete Glassorte 0,0000278.

D	T $t=20,\ t_1=20$	Für eine Differenz von 1 mm	T $t=20,\ t_1=15$	Für eine Differenz von 1 mm
460,08	— 108,585		— 108,582	
		0,36006		0,36024
510,08	— 90,582		— 90,570	
		0,36084		0,36104
560,08	— 72,540		— 72,519	
		0,36156		0,36168
610,08	— 54,462		— 54,434	
		0,36230		0,36232
660,08	— 36,347		— 36,317	
		0,36310		0,36320
710,08	— 18,192		— 18,158	
		0,36384		0,36316
760,08	— 0		0	
		0,36462		0,36540
810,08	+ 18,231		+ 18,275	
		0,36536		0,36546
860,08	+ 36,499		+ 36,548	
		0,36622		0,36628
910,08	+ 54,810		+ 54,862	
		0,36686		0,36702
960,08	+ 73,153		+ 73,213	
		0,36770		0,36786
1010,08	+ 91,538		+ 91,606	
		0,36834		0,36852
1060,08	+ 109,956		+ 110,032	

Da aber der Barometerstand bis auf Bruchtheile eines Millimeter abgelesen werden kann, so ist der Apparat sehr empfindlich.

Die von Pfaundler[1]) vorgeschlagene Form dieses Apparates hat keinen ersichtlichen Vorzug. Auch das Luftpyrometer von Codazza[2]) mit Luftcompressionsmanometer ist nicht besonders empfehlenswerth.

Crafts[3]) giebt ein Luftthermometer mit constantem Volumen an, welches an Stelle von Quecksilberthermometern verwendet werden kann (vergl. S. 17). Der kleine, mit Wasserstoff gefüllte, nur 0,75 ccm fassende Behälter a (Fig. 52) ist durch das 0,023 ccm fassende, 84 cm lange Capillarrohr b mit dem Manometer r und durch den Schlauch p mit dem Quecksilbergefäß f verbunden. Letzteres ist mittels der über die Rolle l gehenden Schnur auf dem Rohre i verschiebbar, in welchem am anderen Ende der Schnur ein entsprechendes Gegengewicht hängt.

Eigenthümlich ist der in Fig. 53 im Durchschnitt dargestellte Quecksilberabschluß. Das durch den Schlauch p zufließende Quecksilber tritt bei o aus einer kleinen Oeffnung des in das Rohr n mittels Kautschukschlauch luftdicht einge-

---

1) Carl's Rep. 1879, *527. — 2) Dingl. 1873, 210, *255. — 3) Dingl. 1879 233, *401.

setzten Rohres x zum Manometer. Die Oeffnung o legt sich auf das obere, mit einer Gummischeibe überzogene Ende des eingekitteten Rohrendes t, neben welchem

Fig. 52.

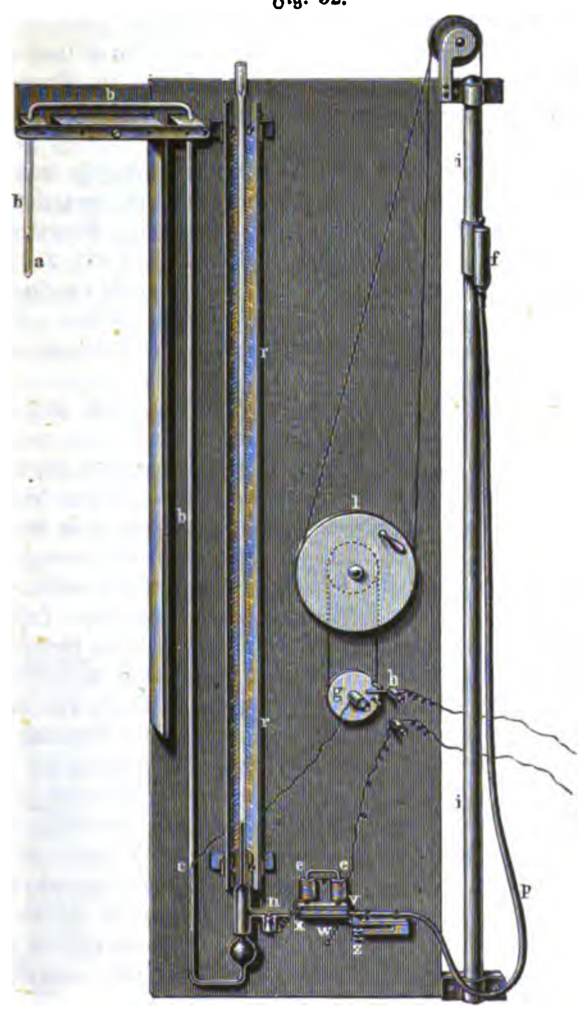


Fig. 53.

Fig. 54.

ein nach dem Elektromagnete *e* führender Platindraht eingeführt ist, während der andere Draht bei *c* eingeschmolzen wurde. Das Rohr *x* ist ferner in einer Kupferröhre befestigt, welche die dem Elektromagnete als Anker gegenüber gestellte Eisenplatte *v* trägt, deren Einstellung mittels der Schraube *z* bewirkt wird. Soll Quecksilber eintreten, so zieht man an der Schnur *w*, während sonst mittels eines auf der Scheibe *g* befestigten, an *h* anliegenden Stiftes der Strom und somit in Folge der Hebung des Rohres *x* durch den Elektromagnet die Oeffnung *o* geschlossen wird.

Für die Bestimmung hoher Temperaturen sind Glasgefäße wegen ihrer Erweichung, Metallgefäße wegen ihrer Durchlässigkeit und unregelmäßigen Ausdehnung nicht zu verwenden. Verfasser hat von der königl. Porzellanmanufactur in Berlin eine Anzahl Porzellanballons das Stück zu 3 Mk. 25 Pf. erhalten. Dieselben haben 9 cm Durchmesser, fassen etwa 360 ccm, das eingesetzte Porzellanrohr ist 13 cm lang; Fig. 54 zeigt die äußere Form desselben. Eine größere Anzahl Versuche damit, welche noch längere Zeit in Anspruch nehmen, soll später besprochen werden.

Die Temperaturangaben dieser letzteren Apparate gelten allgemein als die zuverlässigsten, ja die einzig richtigen, auf welche alle anderen corrigirt werden müssen. Deville[1]) warnt zwar davor, zu großes Vertrauen auf die Genauigkeit dieser Bestimmungen hoher Temperaturen zu setzen, da noch keineswegs feststehe, daß sich die Gase gleichmäßig ausdehnen, zusammengesetzte Gase, z. B. die Kohlensäure, aber selbst schon bei Rothglut Dissociationserscheinungen zeigen, daß daher Kohlensäure und Feuchtigkeit sorgfältig entfernt werden müssen[2]).

Amagat[3]) fand, daß die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei 2 Atm. Druck und hohen Temperaturen dem Boyle-Mariotte'schen Gesetze nahe stehe; Mendelejew und Kirpitschew[4]) fanden dagegen, daß dieses Gesetz ebenso wenig genau sei für Luft bei geringem wie bei hohem Druck, und Regnault[5]) zeigte, daß der Ausdehnungscoefficient der atmosphärischen Luft mit dem Drucke zunimmt. Berücksichtigt man ferner, daß, da die Ausdehnung des Glases schon zwischen 0 bis 100° nicht gleichmäßig ist (S. 21), die Volumvergrößerung von Glas und Porzellan bei hohen Temperaturen auch nicht regelmäßig sein wird, so können selbst die Temperaturbestimmungen mittels der Luftpyrometer wohl kaum Anspruch auf absolute Genauigkeit machen. Immerhin sind diese Fehlerquellen gering und lassen sich größtentheils ausgleichen, so daß bei sorgfältiger Ausführung der Versuche, wie sie allerdings nur in wohleingerichteten Laboratorien möglich ist, das Luftthermometer für hohe und niedere Temperaturen in der That als Normalthermometer angesehen werden muß.

Thermodynamometer. R. Pictet benutzt unter Anwendung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie zur Temperaturmessung durch die mechanische Arbeit die Spannungen verschiedener Dämpfe, welche einerseits in einer festen Beziehung zu den Temperaturänderungen stehen, andererseits in dem auf die Gefäßwände ausgeübten, mittels Manometer meßbaren Druck einen in

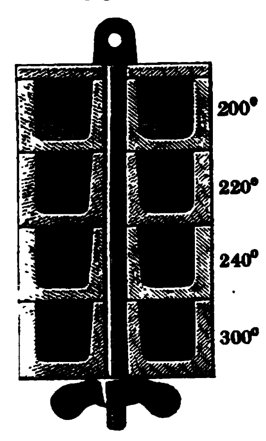
---

[1]) Dingl. 1872, **204**, 34. — [2]) Vergl. Dingl. 1876, **221**, 93. — [3]) Compt. rend. **75**, 479. — [4]) Berichte d. ch. G. 1874, 486. — [5]) Mémoir. de l'Acad. **26**, 565.

Meterkilogramm darstellbaren Werth liefern. Für Temperaturen von — 180 bis — 100° benutzt er eine Mischung aus gleichen Theilen Kohlensäure und Stickoxydul, von — 100 bis — 40° reine Kohlensäure, von — 40 bis + 25° reine Schwefligsäure, von + 25 bis + 90° Aether und von + 90 bis 200° Wasser. Bezüglich des Apparates und der umfassenden Berechnungen, welche diese für technische Zwecke wohl nicht brauchbaren Temperaturbestimmungen erfordern, muß auf die ausführliche Abhandlung in den Archives des Sciences physiques et naturelles, 1878, Bd. 64, S. *185 verwiesen werden [1]).

2. Aenderungen des Aggregatzustandes. Schon Prinsep [2]) (nach Anderen Princeps) bestimmte hohe Temperaturen mittels Legirungen aus Silber, Gold und Platin, deren Schmelzpunkt vorher festgestellt war. Gebr. Appolt [3]) verwendeten Legirungen aus Zinn und Kupfer, deren Schmelzpunkte mittels einer Eisenplatte calorimetrisch bestimmt waren. Von diesen Legirungen werden erbsengroße Stücke mittels einer Eisenstange, welche am vorderen Ende halbkugelförmige Vertiefungen hat, der zu messenden Temperatur ausgesetzt; der Schmelzpunkt der am schwersten schmelzbaren Legirung, welche hierbei geflossen ist, giebt die gesuchte Temperatur. F. Heeren [4]) hängt einen zweiarmigen Löffel aus feuerfestem Thon mit je 3 g einer Legirung aus Silber und Platin in den Feuerraum. M. Heeren [5]) schlägt vor, über einen Eisendorn ringförmige Schalen aus Gußeisen zu stecken, deren eine den Deckel der anderen bildet, während die obere Schale besonders zugedeckt ist, wie Figur 55 zeigt. In jede Schale wird der Ring einer Metalllegirung gelegt, deren Schmelzpunkte z. B. 20° aus einander liegen; dieselben sind auf dem Boden der betreffenden Schale in vertieften Zahlen angegeben. Auf den Scheiben, welche bei der zu messenden Temperatur geschmolzen sind, findet man daher nach dem Erkalten diese Zahl abgedrückt; da die obere Seite glatt bleibt, so werden die Scheiben für jeden folgenden Versuch einfach umgekehrt.

Fig. 55.



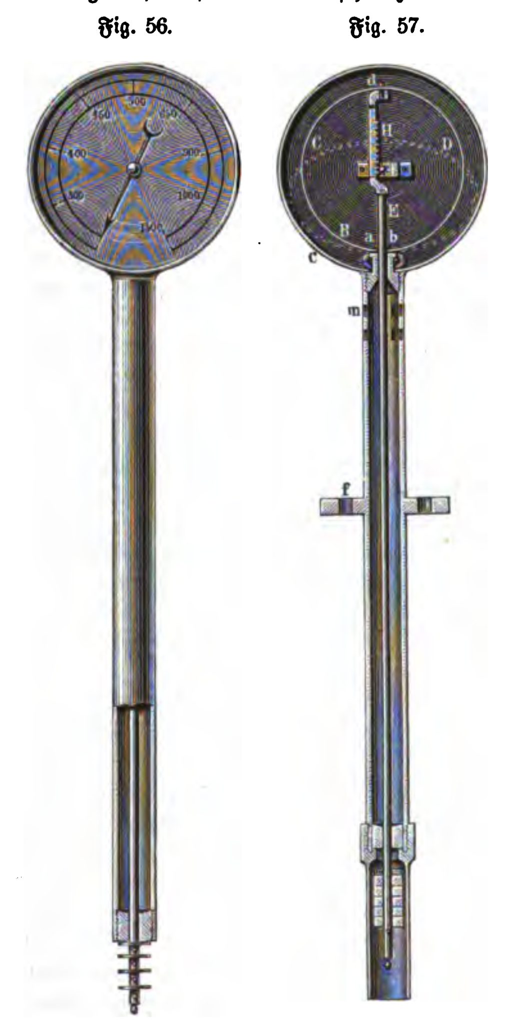
Ducomet (D. R. P. 4882) sucht dieses Princip in folgender Weise auszunutzen. Die beiden Enden der von einem Gehäuse eingeschlossenen Feder *B C D* (Fig. 56 u. 57 a. f. S.) werden durch die kleinen Schrauben *a* und *b* der Führungsbüchse *c* festgehalten. Durch die Schraube *d* ist die Feder mit der Zahnstange *H* verbunden, welche in ein kleines Getriebe eingreift, auf dessen Achse ein Zeiger sitzt, der somit durch eine Verschiebung der aus Metall oder feuerfestem Thon hergestellten Stange *E* bewegt wird. Das untere Ende dieser durch eine Metallhülle geschützten Stange trägt eine Anzahl Scheiben von verschiedenem Schmelz-

---

[1]) Dasselbe Princip ist jetzt bei dem sogen. Thalpotasimeter von Klinghammer angewendet. — [2]) Dingl. 1828, 28, 421; Edinburg. Journ. of Sc. 17, 168. — [3]) Mitth. Gewerbver. f. Hannover 1865, 346. — [4]) Dingl. 1861, 161, *105. — [5]) Dingl. 1877, 225, *277.

punkt, durch deren Gewicht die Feder etwa in die angedeutete elliptische Form gezogen wird. Erreicht nun die Temperatur des bis zur Flansche *f* der zu messenden Hitze ausgesetzten unteren Theiles den Schmelzpunkt einer der Platten, so schmilzt diese ab, die Feder wird dadurch entsprechend entlastet und rückt den Zeiger vor. Wie Fig. 56 zeigt, kann man statt der Platten auch Stifte durch die Stange *E* stecken, bei deren Abschmelzen die Stange und somit auch der Zeiger entsprechend vorrückt. Es läßt sich ferner unten an die Stange eine Schale hängen, die mit einer Flüssigkeit gefüllt wird, durch deren Verdampfung aus den Oeffnungen *m* (Fig. 57) die Feder entlastet wird u. s. f. — Das Verfahren dürfte nur für wenige Fälle empfehlenswerth sein.

Fig. 56. Fig. 57.

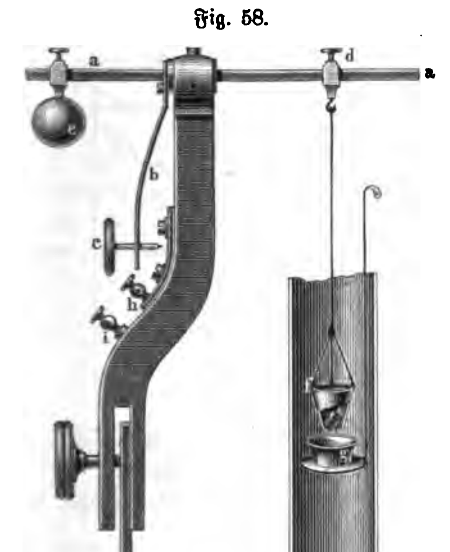


Um die Temperatur im Ultramarinofen zu bestimmen, bringt Büchner[1]) ein 5 bis 8 cm weites Rohr aus feuerfestem Thon senkrecht im Ofen an. An dasselbe ist oben ein eiserner Träger befestigt und an diesem wiederum der eigentliche Apparat (Fig. 58) angeschraubt. Letzterer trägt den verschiebbaren Wagebalken *a*, an welchem der mit einer Schraube *c* stellbare Contact *b* angebracht ist. An der einen Seite des Wagebalkens befindet sich eine Stellschraube *d*, an der anderen ein Gegengewicht *e*, welches ebenfalls nach Belieben gestellt werden kann. An *d* wird mittels eines Platin- oder Eisendrahtes der Tiegel *f* angehängt; derselbe hat am Boden eine kleine Oeffnung. In diesen Tiegel kommt nun, nachdem man ihn in das feuerfeste Rohr eingehängt hat, die betreffende Legirung und es wird das Gewicht

[1]) Dingl. 1879, 232, *431.

mit dem Gegengewicht *e* ausgeglichen. Unter dem Tiegel hängt man mittels eines starken Eisendrahtes die kleine Porzellanschale *g* auf. Die in Fig. 58 weiter ersichtlichen Polschrauben *h* und *i* stehen nun einerseits mit einer Batterie (ein mittelgroßes Flaschenelement genügt) und andererseits mit der Glocke *K* (Fig. 59 und 60, a. f. S.) in Verbindung. Sobald nun im Ofen die Temperatur so hoch gestiegen ist, daß das Metall zum Schmelzen kommt, wird dasselbe durch die Oeffnung in die Schale *g* tropfen, der Tiegel *f* an Gewicht abnehmen, das Gegengewicht *e* wirken, der Stab *b* mit *h* in Contact treten und die Glocke anfangen zu läuten. Man nimmt alsdann den Tiegel *f* und die Schale *g* heraus und hängt einen neuen Tiegel mit einem höher schmelzbaren Metall hinein. Da der Inhalt der Schale *g* immer wieder zu dem Inhalt des Tiegels kommt, so hat man auch keinen Verlust an Metall zu beklagen. Selbstverständlich muß man jeden Tiegel aufs Neue ausbalanciren.

Fig. 58.



Die Glocke *K* ist nun an einer starken, 8 Tage gehenden Uhr (ohne Schlagwerk) angebracht. Der Schlaghebel *l* der Glocke ist verlängert und trägt an dem Ende *m* einen Messingstift *n*. An der Uhr selbst ist der große Zeiger durch ein Zifferblatt ersetzt, dessen Eintheilung aus der Zeichnung leicht verständlich sein wird. Sobald also die Glocke zum Anschlag gebracht wird, so wird auch jedesmal der Stift *n* auf dem Zifferblatt einen Punkt eindrücken, womit also die betreffende Temperatur von selbst registrirt ist. Zu bemerken ist noch, daß der Stift *n* in dem Hebel *m* verschiebbar ist, man denselben also nach Ablauf von 12 Stunden nur auf einen anderen Kreisbogen einzustellen hat, um das Zifferblatt 72 Stunden lang gebrauchen zu können.

Th. Erhard und A. Schertel[1]) haben die Schmelzpunkte einiger Legirungen von Silber, Gold und Platin mittels eines Luftthermometers in einem kleinen, mit einem Schlösing'schen Löthrohre geheizten Ofen bestimmt. Zur Herstellung der Legirungen wurden die Metalle abgewogen und, in Mengen von 100 bis 150 mg zur Kugel geschmolzen, der zu messenden Hitze ausgesetzt. Die Platin-Goldlegirungen zeigten große Neigung zum Entmischen. Die Beobachter glauben, daß diese bis 1400° gehenden Bestimmungen nur eine Ungenauigkeit bis 20°

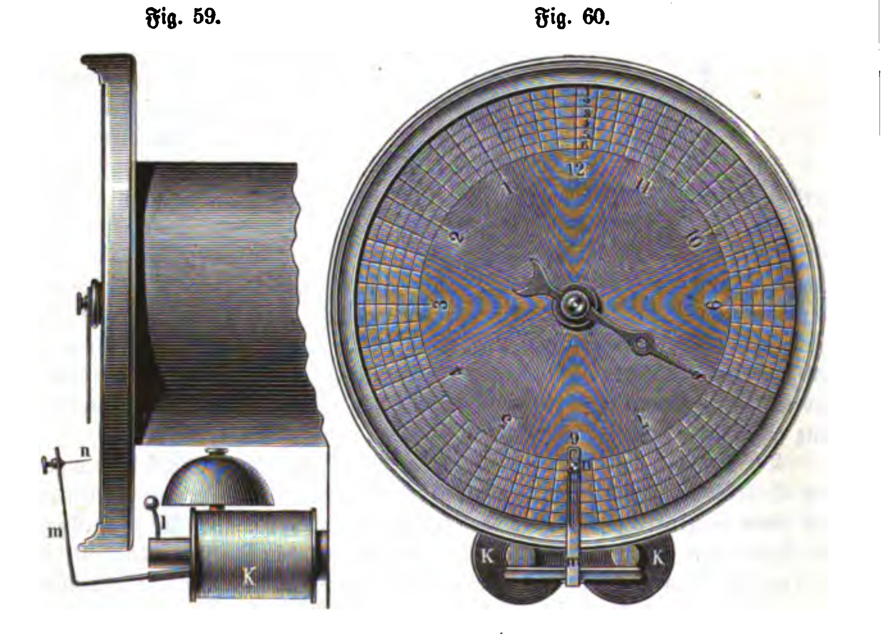
[1]) Jahrb. Berg. Hüttenw. Sachsens 1879, *17.

zeigen; die höheren Temperaturen sind mit Benutzung der Angaben von J. Violle (S. 64) durch graphische Interpolation gefunden:

Zusammensetzung Proc.	Schmelzpunkt	Zusammensetzung Proc.	Schmelzpunkt	Zusammensetzung Proc.	Schmelzpunkt
Silber = Ag	954°	80 Au 20 Pt	1190°	35 Au 65 Pt	1495°
80 Ag 20 Au	975	75 25	1220	30 70	1535
60 40	995	70 30	1255	25 75	1570
40 60	1020	65 35	1285	20 80	1610
20 80	1045	60 40	1320	15 85	1650
Gold = Au	1075	55 45	1350	10 90	1690
95 Au 5 Pt	1100	50 50	1385	5 95	1730
90 10	1130	45 55	1420	Platin = Pt	1775
85 15	1160	40 60	1460		

Die Anwendung derartiger Legirungen ist für viele Fälle allerdings bequem, doch muß der Schmelzpunkt jedesmal vorher genau festgestellt werden. Bei dem großen Einfluß, den oft geringe Beimengungen auf den Schmelzpunkt haben

Fig. 59. Fig. 60.



(Schmiedeisen, Gußeisen), und bei der Leichtigkeit, mit der sich die meisten Legirungen beim Umschmelzen zersetzen, ist ihre Anwendung nicht unbedenklich.

3. Dissociation. Lamy[1]) verwendet die von Debray[2]) untersuchte Dissociation des kohlensauren Calciums zu seinem Pyrometer, indem er aus der Spannung der Kohlensäure aus dem in einem Porzellanrohre der zu messenden Hitze ausgesetzten Marmor die Temperatur berechnet. Weinhold[3]) zeigt, daß dasselbe völlig unbrauchbar ist.

4. Optische und akustische Erscheinungen. Bekanntlich giebt es eine Anzahl Körper, welche beim Erhitzen dauernd oder vorübergehend dunkler werden. Heß[4]) empfiehlt für niedere Temperaturen Jodkupferquecksilber. Ob für höhere Temperaturen in gleicher Weise in einzelnen Fällen Eisenoxyd, Zinnober, Quecksilberoxyd und andere Stoffe, die beim Erhitzen ihre Farbe ändern, zu Temperaturbestimmungen verwendet werden können, ist erst durch Versuche festzustellen. Die Anlauffarben des Stahles, welche ebenfalls zur Bestimmung hoher Temperaturen verwendet wurden, sind nicht nur abhängig von der Höhe der Temperatur, sondern auch von der Dauer der Erhitzung, können daher höchstens annähernd richtige Resultate geben.

Nach C. Decharme[5]) hängen die auch von Pouillet zur Temperaturbestimmung vorgeschlagenen Glühfarben der Metalle, namentlich des Platins, von der Dicke und der Anordnung des betreffenden Metallfadens ab.

Becquerel[6]) bestimmt die Temperaturen thermo-elektrisch, die von dem erhitzten Körper ausgestrahlten Lichtmengen mittels eines Polarisationsphotometers und drückt die Beziehung beider Größen durch eine Exponentialformel aus zur Berechnung der Temperaturen, die für sein Thermoelement Platin-Palladium zu hoch sind. Weinhold wendet dagegen ein, daß Becquerel die als einfarbig betrachteten Lichtarten mittels farbiger Gläser erhalten hat, so daß seine Formeln nur für die von ihm gebrauchten Gläser Geltung haben können.

Dewar und Gladstone[7]) haben Versuche gemacht, hohe Hitzegrade durch die Aenderung des Spectrums bei steigender Temperatur zu bestimmen; doch stellten sich ihnen bis jetzt unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen.

A. Crova[8]) bestimmt aus den continuirlichen Spectren zweier Lichtquellen, deren eine die bekannte Temperatur T, die andere die unbekannte t hat, mittels Spectrometer die Intensität eines rothen und eines grünen Strahles, deren Wellenlängen λ und λ_1 676 und 523 betragen. Der Quotient derselben giebt das Verhältniß der Intensitäten der Strahlen λ_1 in beiden Spectren, wenn das stärkere so abgeschwächt wurde, daß der Strahl λ in beiden gleich ist. Zwei Körper desselben Strahlungsvermögens haben aber dieselbe Temperatur, wenn die Intensitäten der einfachen Strahlen ihrer continuirlichen Spectren gleich bleiben, falls das stärkere durch zwei Nicols so geschwächt wird, daß die Intensitäten zweier Strahlen gleicher Wellenlänge in beiden Spectren gleich sind. Crova giebt nun dem Lichte einer mit Rüböl gespeisten Moderateurlampe die optische Temperatur 1000 und vergleicht damit die Intensitäten des grünen und rothen Strahles der unbekannten Lichtquelle. Das so erhaltene Verhältniß wird mit

---

[1]) Dingl. 1869, **194**, 209; **195**, 525. — [2]) Compt. rend. **64**, 603. — [3]) Dingl. 1873, **208**, 126. — [4]) Dingl. 1875, **218**, 183. — [5]) Jahresber. Chem. 1875, **49**. — [6]) Compt. rend. **55**, 826. — [7]) Chem. News **28**, 174. — [8]) Compt. rend. **88** 171.

dem Strahlungsvermögen des Porzellanbehälters eines Luftthermometers verglichen und so auf die richtige Temperatur umgerechnet [1]).

Die folgende Tabelle giebt die „optischen" Temperaturen verschiedener Lichtquellen in der willkürlichen Scala:

Bis zur Rothglut in einer Gaslampe erhitztes Platin	524
Bis zur weißen Rothglut in einem Gebläse erhitztes Platin . .	810
Mit Rüböl gespeiste Moderateurlampe	1000
Stearinlicht	1162
Gaslicht (Argandbrenner)	1373
Hydrooxygenlicht (Leuchtgas und Sauerstoff auf Kalk)	1816
Elektrisches Licht (60 Bunsen'sche Elemente)	3060
Sonnenlicht	4049

Wie Becquerel für Porzellan, Kohle, Platin und Magnesia, so hat Crova für Kohle, Kalk und Platin gleiches Strahlungsvermögen gefunden.

Setzt man nach den Versuchen von J. Violle [2]) die Intensität I des von Platin beim Schmelzpunkt des Silbers (954°) ausgestrahlten Lichtes = 1, so erhält man für die Temperaturen zwischen 800 und 1775° folgende Werthe:

800°	$I =$ 0,108	1200°	$I =$ 17,8	1600°	$I =$ 327
900	0,475	1300	45,2	1700	481
1000	1,82	1400	100	1775	587
1100	6,10	1500	194		

Diese der Formel $\log I = -8{,}244929 + 0{,}0114751\,t - 0{,}000002969\,t^2$ entsprechenden Zahlen zeigen, daß das bei 500° kaum sichtbare rothe Licht anfangs rasch, dann langsam zunimmt, bei 1933° das Maximum von 696 erreicht, um bei 2910° wieder auf 1 herunter zu gehen. Die Intensität einer bestimmten Strahlung wächst somit nicht unbegrenzt mit der Temperatur, sondern wird bei einer gewissen hohen Temperatur gerade so wieder unmerklich, als sie bei einer anderen niederen Temperatur erst auftrat. Da nun ferner das Verhältniß der leuchtenden und dunkeln Strahlen in unseren verschiedenen Wärme- und Lichtquellen bekanntlich durchaus nicht dasselbe ist, so sind derartige spectroskopische Wärmemessungen noch mit großer Vorsicht aufzunehmen (S. 53).

Cagniard-Latour und Demonferrand [3]) berechnen die Temperatur aus der Aenderung der Tonhöhe einer Flötenpfeife. Auch Meyer [4]) berechnet bei seinem akustischen Pyrometer die Temperatur aus den durch die Erwärmung bewirkten Abweichungen in der Anzahl von Wellenlängen von in Röhren eingeschlossener Luft. J. Chautard [5]) hat dieses Pyrometer vereinfacht, bezweifelt aber selbst die praktische Brauchbarkeit desselben.

5. Elektrische Erscheinungen. Pouillet [6]) berechnet die Temperaturen aus der Stromstärke eines thermo-elektrischen Elementes von Eisen und Platin.

---

[1]) Vergl. Beibl. zu Annal. Phys. Chem. 1879, 275. — [2]) Compt. rend. 88, 171. — [3]) Compt. rend. 4, 28. — [4]) Pogg. Ann. 148, 287. — [5]) Pogg. Ann. 153, 158; vergl. Dingl. 1878, 227, 507. — [6]) Dingl. 1837, 63, 221.

Solly[1]) verwendet ein solches von Eisen und Kupfer, Becquerel, wie bereits erwähnt, Platin und Palladium. Schinz[2]) zeigt, daß man mit dem Apparate von Becquerel völlig falsche Angaben erhält; er verwendet daher wieder Eisen und Platin. Nach den früheren Versuchen von Regnault[3]) giebt jedoch auch ein Eisen-Platinelement unzuverlässige Resultate. Zur Messung hoher Temperaturen ist demnach die Thermoelektricität nicht zu verwenden, sondern nur für ganz geringe Temperaturschwankungen, wie sie bei der Bestimmung der strahlenden Wärme vorkommen (S. 53).

Empfehlenswerth ist dagegen das elektrische Pyrometer von C. W. Siemens[4]) in London, welcher den mit der Temperatur wachsenden Leitungswiderstand verwendet. Von den älteren Versuchen, welche die Widerstandsänderung nur von 0 bis 100° verfolgen, lassen die von Arndtsen und W. Siemens die Widerstandsänderung der Temperaturänderung einfach proportional erscheinen[5]), während die von Matthiessen eine Abweichung von der Proportionalität ergeben, welche derselbe durch eine Formel ausdrückt, die aber wenig über 100° alle Gültigkeit verliert. Siemens hat für Platin, Kupfer, Eisen, Aluminium und Silber die Untersuchung zunächst bis auf Temperaturen von etwa 300° ausgedehnt und dabei gefunden, daß bei größeren Temperaturunterschieden die Abweichung von der Proportionalität zwischen Temperaturänderung und Widerstandsänderung eine erhebliche ist, daß aber für alle untersuchte Metalle die Beziehung zwischen Temperatur (t) und Widerstand (R) sich befriedigend ausdrücken läßt durch die Formel $R = \alpha\, T^{1/2} + \beta\, T\, t + \gamma$, in welcher T die absolute Temperatur ($t + 273$) und α, β und γ Coefficienten sind, die von der Natur des Metalles abhängen. Beim Platin, das für pyrometrische Zwecke allein in Frage kommen kann, ändern sich diese Coefficienten sehr bedeutend durch ganz geringfügige Verunreinigungen des Metalles; die Leitungsfähigkeit verschiedener Platinsorten wurde bei 22,8° von 8,85 bis 4,7 schwankend gefunden (Leitungsvermögen des Quecksilbers = 1 gesetzt); die Zunahme des Leitungwiderstandes von 20° bis 100° schwankte von 22,4 bis 33,5 Proc. Das größte Leitungsvermögen zeigt das auf ältere Art durch Zusammenschweißen von Platinschwamm erzeugte Metall, jedenfalls weil es am reinsten ist; solches Platin verwendet Siemens ausschließlich zur Herstellung seiner Pyrometer.

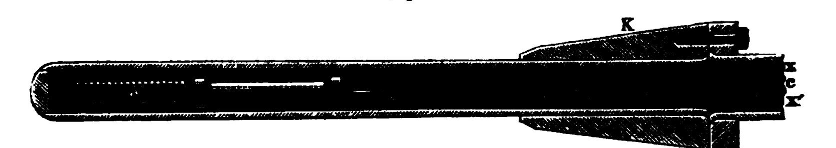
Bei diesem Widerstandspyrometer ist nun ein Platindraht (dessen Constanten für die obige Formel $\alpha = 0{,}039369$, $\beta = 0{,}00216407$ und $\gamma = -0{,}24127$) von 0,4 mm Dicke und 10 Siemens-Einheiten Widerstand in eine feine, schraubenförmig um einen Cylinder e (Fig. 61) aus hart gebranntem Pfeifenthon laufende Rinne eingelegt, die Enden sind an mäßig lange, dickere Platindrähte angeschmolzen, und an diese wieder sind kupferne Leitungsdrähte angelöthet; überdies ist Vorsorge getroffen, kleine Theile des dünnen Drahtes mittels einer verschiebbaren Klemme aus der Leitung aus oder in dieselbe einschalten zu können, damit

---

[1]) Phil. Mag. II, 19, 391. — [2]) Dingl. 1865, 177, *85; 1866, 179, *436. — [3]) Mém. de l'Acad. 21, 246. — [4]) Dingl. 1869, 193, 516; 1877, 225, 463; Electrical resistance thermometer (London *1875). — [5]) Vergl. Reißig, Dingl. 1864, 171, 351; Benoit, Dingl. 1875, 215, 471.

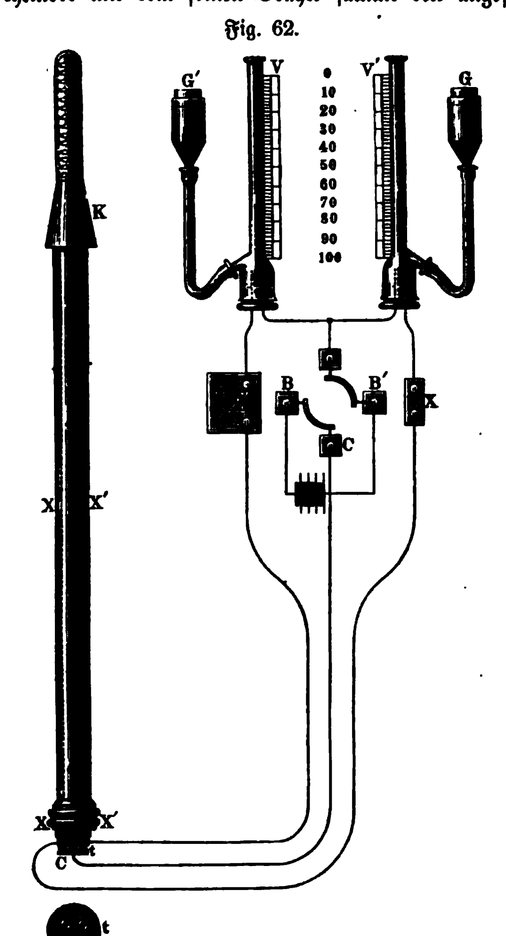
der Widerstand genau auf die verlangte Größe von 10 Einheiten gebracht werden kann. Das eine Ende des dünnen Drahtes ist mit einem dickeren Leitungsdrahte, das andere Ende ist mit zwei solchen Drähten verbunden; jeder dieser drei Drähte

Fig. 61.



ist eingeschoben in enge Thonröhren, die zur Isolation dienen, und der Thoncylinder mit dem feinen Drahte sammt den angesetzten drei stärkeren Leitungen ist eingelegt in ein starkes, schmiedeisernes Rohr, welches an dem unteren Ende zugeschweißt ist, während das andere Ende auf einer in Messing gefaßten, isolirenden Thonplatte *t* (Fig. 62) drei Klemmschrauben trägt, welche mit den Enden der dickeren Leitungsdrähte verbunden sind. Der Thoncylinder ist durch ein umgewickeltes Platinblech geschützt und dieses ist noch durch eine Zwischenlage von Asbest von dem umhüllenden Eisenrohre getrennt. An einzelnen Exemplaren, welche vorzugsweise bestimmt sind, andauernd den höchsten Hitzegraden ausgesetzt zu werden, hat **Siemens** den ganzen, dem lebhaften Glühen ausgesetzten Theil des Eisenrohres durch ein Platinrohr ersetzt, da es sich gezeigt hat, daß bei sehr anhaltendem Glühen der Widerstand des Platindrahtes im Eisenrohre eine dauernde Vergrößerung erfährt, was nicht der Fall ist, wenn die Umhüllung des Drahtes aus Platin besteht; die im Innern des schmiedeisernen Rohres in starker Glühhitze sich erzeugende

Fig. 62.



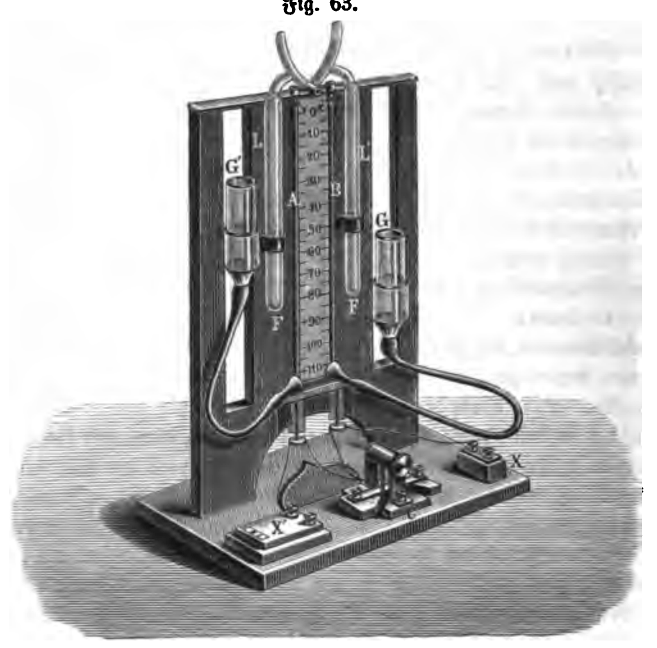
reducirende Atmosphäre bewirkt eine Verunreinigung des Platindrahtes durch Spuren aus dem Thon des Cylinders herrührenden Siliciums, und diese Verunreinigung vermindert die Leitungsfähigkeit des Pladindrahtes. Der Thoncylinder ist so wenig wie irgend ein anderer Körper ein absoluter Nichtleiter, und seine Isolationsfähigkeit nimmt noch ab, wenn er in der Hitze einigermaßen erweicht. Siemens hat deshalb den Widerstand desselben untersucht und gefunden, daß derselbe in der Kälte 1000000 Einheiten, in der stärksten im Ofen erreichbaren Glühhitze noch 500 Einheiten beträgt und beim Wiedererkalten des Cylinders zu seiner ursprünglichen Größe zurückgeht. Gegen den Widerstand des Platindrahtes (10 Einheiten bei 0°, 39,18 Einheiten bei 1000°) ist also der des Thoncylinders so groß, daß man diesen unbedenklich als Isolator ansehen kann; es macht sich kaum bei den allerhöchsten Temperaturen ein geringer Einfluß des Thoncylinders geltend, derart, daß der Widerstand des Drahtes etwas zu klein und dadurch die beobachtete Temperatur etwas zu niedrig erscheint.

Zur Strommessung hat Siemens das leicht zu handhabende Differentialvoltameter construirt. Der Strom einer mäßig starken galvanischen Batterie (6 Leclanché-Elemente, die im Kasten *m*, Fig. 64, S. 51, stehen) wird in zwei Zweige getheilt, von denen jeder durch ein Voltameter und überdies der eine durch einen bekannten, der andere durch den zu messenden Widerstand geht. Da die Stromstärken in den beiden Zweigen den Widerständen umgekehrt und die in den Voltametern entwickelten Knallgasmengen den Stromstärken direct proportional sind, so giebt das Verhältniß der in den beiden Voltametern entwickelten Knallgasmengen das umgekehrte Verhältniß der Widerstände. Bei dem zum Pyrometer verwendeten Differentialvoltameter ist der Widerstand jedes Voltameters sammt den zugehörigen Verbindungsdrähten gleich 3, der in den einen Zweig der Leitung eingeschaltete constante Neusilberwiderstand gleich 17 Siemens-Einheiten. Bezeichnet man die in diesem Zweige entwickelte Knallgasmenge mit V, die in dem anderen Zweige entwickelte mit V' und den in diesem zweiten Zweig eingeschalteten, unbekannten Widerstand mit R, so ist $(17 + 3) : (R + 3) = V^1 : V$ und somit $R = 20 \frac{V}{V'} - 3$.

Eine Ansicht des Differentialvoltameters giebt Figur 63 a. f. S., eine schematische Darstellung der Anordnung der Leitungen Fig. 62. Auf einem Holzgestell F sind zwei enge, genau gleich weite Glasröhren A und B angebracht, deren jede unten eine kleine Erweiterung trägt. Die erweiterten Theile enthalten je zwei Platinelektroden und stehen durch seitlich angesetzte Gummischläuche in Verbindung mit den Glasgefäßen G und G', welche in kleinen Holzschlitten sitzen und sich mit mäßiger Reibung an dem Gestell auf- und abschieben lassen. Sowohl die beiden Glasbehälter, als auch die Röhren A und B sind an und für sich offen; letztere werden aber für gewöhnlich verschlossen durch kleine Gummipolster, welche an den horizontalen Armen zweier Winkelhebel mit gemeinschaftlicher Drehungsachse sitzen. Die Gewichte L und L' ziehen die Winkelhebel für gewöhnlich abwärts und drücken dadurch die Gummipolster fest. Soll der Verschluß der Glasröhren gelüftet werden, so drückt man die aufwärts gerichteten Arme der Winkelhebel gegen einander, wodurch die Gummipolster gehoben werden.

Hinter den Glasröhren A und B liegen Scalen, deren Nullpunkte sich nahe unter dem oberen Ende der Glasröhren befinden. Die linke Scala trägt die Bezeichnung V, die rechte V'. Das linke Voltameter ist mit dem Widerstande von 17 Einheiten, der in einem Holzgehäuse X' auf dem Fußbrette steht, das

Fig. 63.

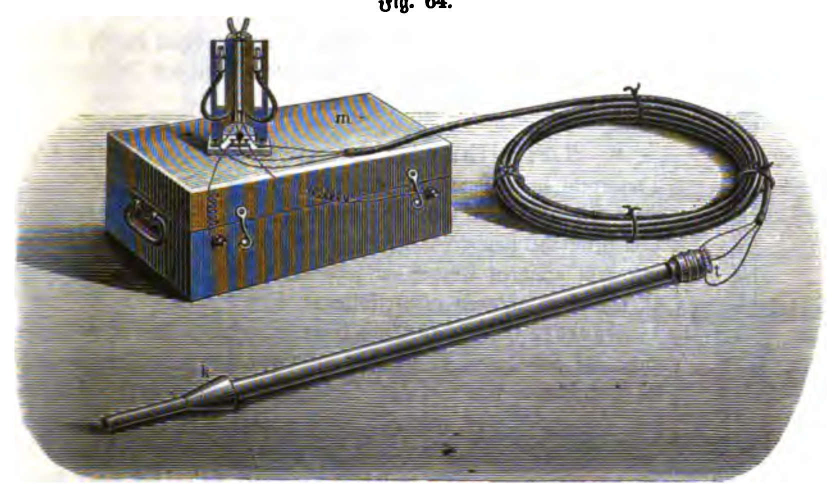


rechte mit der Klemmschraube X und überdies sind beide mit dem vorn in der Mitte des Fußbrettes befindlichen Commutator verbunden und zwar mit dessen hinterer Klemme. Die vordere Klemme desselben ist mit C bezeichnet; an die linke und rechte Klemme B und B' werden die von der Batterie kommenden Zuleitungsdrähte angesetzt. Die drei Klemmschrauben an dem den Platinwiderstand enthaltenden Eisenrohr sind ebenfalls mit X, X' und C bezeichnet; die von X' und C kommenden Drähte sind beide mit dem einen Ende des dünnen Platindrahtes, der von X kommende ist mit dem anderen Ende desselben verbunden. Die zur Verbindung der gleich bezeichneten Theile am Voltameter und am Eisenrohr dienenden drei Kupferdrähte sind in einem kleinen Kabel von etwa 23 m Länge enthalten; man kann also das Voltameter ziemlich entfernt von dem Punkte aufstellen, dessen Temperatur gemessen werden soll.

Beim Gebrauch des Instrumentes werden die Theile in der durch Figur 62 und 64 angedeuteten Weise verbunden, die Glasbehälter G und G' mit verdünnter Schwefelsäure (1 Vol. Säure auf 9 Vol. Wasser) gefüllt und so hoch gestellt, daß sich die Flüssigkeit in den Glasröhren A und B auf Null einstellt, wenn man den Röhrenverschluß aufhebt. Der Commutator bleibt zunächst in solcher Stellung, daß der Strom unterbrochen ist. Hierauf setzt man das Eisenrohr,

welches den Platinwiderstand enthält, der zu messenden Temperatur aus, schließt den Strom und wechselt dessen Richtung mittels des Commutators etwa alle 10 Secunden, um ungleiche Polarisation zu vermeiden. Sobald sich jede der beiden Glasröhren *A* und *B* bis wenigstens zur Hälfte mit dem entwickelten Knallgase gefüllt hat, unterbricht man den Strom, schiebt die Behälter *G* und *G'* soweit herunter, daß in jedem die Flüssigkeit in gleicher Höhe mit der in der

Fig. 64.



zugehörigen Röhre *A* oder *B* steht und liest die entwickelten Knallgasmengen ab. Da es nur auf das Verhältniß dieser Volumen ankommt und dieselben unter gleichem Druck, bei gleicher Temperatur und gleichem Feuchtigkeitsgehalte gemessen werden, so ist eine Reduction derselben auf den Normalzustand gar nicht erforderlich. Um überdies jede Rechnung zu ersparen, wird dem Instrumente eine Tabelle beigegeben, welche für jede zwei Volumen *V* und *V'* unmittelbar die zugehörige Temperatur angiebt.

Nach den Versuchen von Chwolson [1]) verringert sich beim Ausglühen eines durch Zug oder Ablöschen gehärteten Platinadrahtes sein Widerstand bis zu etwa 5 Proc. Bei anhaltendem starken Glühen vergrößert er sich wieder, desgleichen beim Ablöschen. Dagegen vergrößerte sich nach heftigem, andauerndem Glühen der Widerstand eines weichen Platindrahtes um höchstens 0,14 Proc. Darauf folgendes Ablöschen gab keine Spur einer weiteren Veränderung. Ein zweiter weicher Platindraht hatte erst nach 25 Minuten andauernden Glühens eine Vergrößerung des Widerstandes um etwa 0,4 Proc. Diese Versuche zeigen, wie wenig sich der Widerstand des Platins selbst nach heftigem und lange anhaltendem Glühen ändert, und daß die Anwendung weichen Platindrahtes im Siemens'schen Pyrometer wohl als gerechtfertigt zu betrachten ist. Ich selbst benutze seit vier Jahren ein von Siemens bezogenes Pyrometer und kann nur bestätigen, daß es

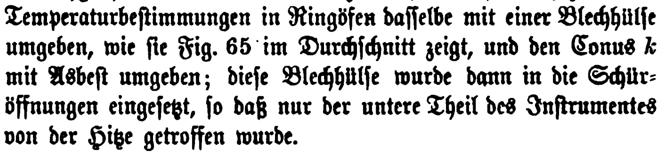
---

[1]) Carl's Repert. 14, 23.

bei sorgfältiger Behandlung durchaus übereinstimmende, gute Resultate giebt [1]) (vergl. S. 12). Seiner allgemeinen Einführung steht nur entgegen, daß es etwas schwierig zu handhaben und sehr theuer ist; das von mir bezogene kostete ab London 20 Pf. St., hier also fast 500 Mark.

Zu bemerken ist noch, daß ich durchweg unregelmäßige Angaben erhielt, sobald der Conus k rothglühend wurde. Um dies zu verhüten, habe ich z. B. bei Temperaturbestimmungen in Ringöfen dasselbe mit einer Blechhülse umgeben, wie sie Fig. 65 im Durchschnitt zeigt, und den Conus k mit Asbest umgeben; diese Blechhülse wurde dann in die Schüröffnungen eingesetzt, so daß nur der untere Theil des Instrumentes von der Hitze getroffen wurde.

Fig. 65.



6. **Vertheilung der Wärme.** Zur Bestimmung hoher Temperaturen hat man mehrfach versucht, die Wärme durch Leitung oder Strahlung so weit zu vermindern, daß sie mittels eines Quecksilberthermometers bestimmt werden kann, oder aber die von dem erhitzten Körper aufgenommene Wärme auf eine große Menge eines anderen zu vertheilen.

Jourdes [2]) setzt das Ende einer Eisenstange der zu messenden Hitze aus und bestimmt mittels eines gewöhnlichen Thermometers die Temperatur von Oel oder Quecksilber, welche in die Höhlung des anderen Endes gebracht sind. Schinz [3]) suchte aus der Temperatur der äußeren Fläche der Ofenwand die im Innern des Ofens herrschende Hitze zu berechnen, überzeugte sich aber später, daß wegen der ungleichen Wärmeleitungsfähigkeit des Mauerwerkes auf diese Weise keine brauchbaren Resultate zu erlangen sind. Main [4]) umgiebt ein Quecksilberthermometer mit Asbest und berechnet aus den so erhaltenen Angaben die Temperatur heißer Gebläseluft, nachdem er für jeden Apparat die Wärmeleitungsfähigkeit der Asbestumhüllung festgestellt hat. Die damit erhaltenen Angaben können höchstens annähernd richtig sein.

Sweeny [5]) berechnete bereits im Jahre 1827 die Temperatur eines Ofens aus der strahlenden Wärme desselben, welche er mittels eines Hohlspiegels auf die Kugel eines Quecksilberthermometers concentrirt.

Bekanntlich wird sonst die strahlende Wärme mittels des Differentialthermometers von Leslie (Fig. 66) bestimmt, bestehend aus zwei durch das rechtwinklig gebogene, theilweise mit Schwefelsäure als Index gefüllte Rohr verbundene Glaskugeln L und L' [6]), meist aber durch Melloni's Thermomultiplicator. Er besteht aus einer thermoelektrischen Säule von Wismuth und Antimon, die an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung p (Fig. 67),

---

[1]) Dingl. 1876, **221**, 470; 1878, **228**, 432. — [2]) Dingl. 1860, **157**, 151. — [3]) Dingl. 1862, **163**, *321; 1865, **177**, *85. — [4]) Dingl.. 1876, **221**, *117. — [5]) Pogg. Ann. **14**, 531. — [6]) Vergl. Dingl. 1821, 6, *236; Müller, Physik, Bd. 2, S. *813.

welche entweder viereckig oder rund ist, auf einem Stativ befestigt (Fig. 68) und durch die aufgesteckten Hülsen *a* und *b* gegen schädliche Einflüsse geschützt sind. Die der Wärmequelle, hier einem Leslie'schen Würfel *H*, zugewendete Hülse ist offen, die andere ist geschlossen. Die von den Klemmschrauben *x* und *y* ausgehenden Drähte *g* und *h* sind durch die Schrauben *m* und *n* mit dem Multiplicator *M* verbunden. Jeder Temperaturunterschied der beiden geschwärzten Seiten der Säule giebt einen entsprechenden Ausschlag der Nadel. — (In wie weit es gelingen wird, das Mikrophon oder Mikrotasimeter [1]) zu Wärmemessungen zu benutzen, ist noch fraglich.)

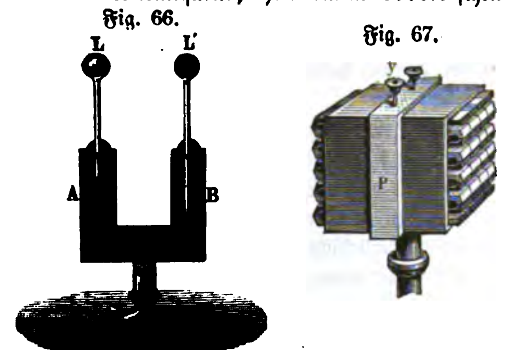
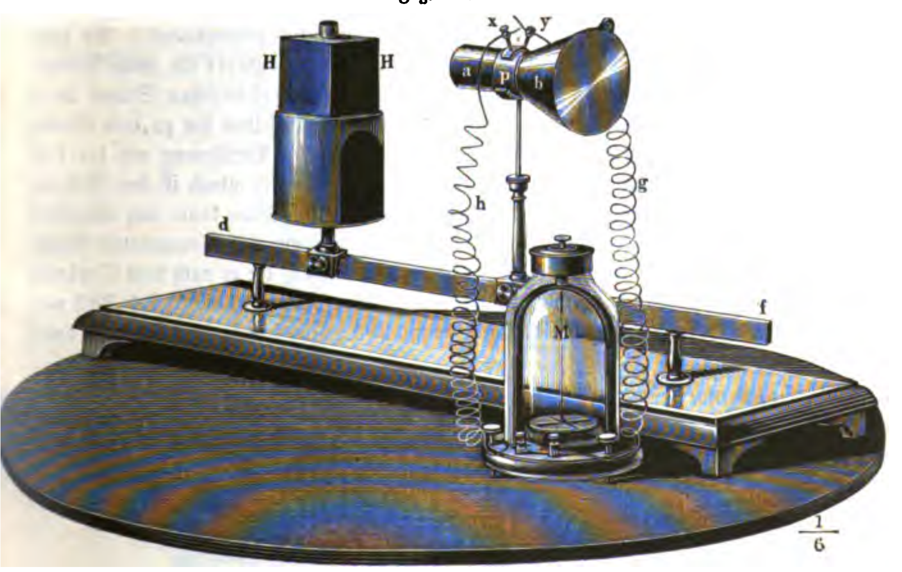


Fig. 66. Fig. 67.

F. Rosetti [2]) hat versucht, auf diese Weise die Temperatur der Sonne zu messen. Es wurde dazu zunächst die Strahlung eines mit Quecksilber gefüllten

Fig. 68.



Leslie'schen Würfels, der bis auf 300° erhitzt werden konnte, mittels einer Thermosäule und eines Wiedemann'schen Galvanometers bestimmt; es ergab sich für den thermischen Effect der Strahlung *Y*, wenn *T* die absolute Temperatur

[1]) Dingl. 1878, **229**, 151, *266. — [2]) Beibl. z. Annal. Phys. 1878, 695.

des strahlenden, δ die der Umgebung der Thermosäule und a und b Constante sind, sehr angenähert:

$$Y = a\,T^2(T-b) - b\,(T-\delta).$$

Diese Formel wurde noch dadurch geprüft, daß eine Kupferkugel in der Flamme eines Bunsen'schen Brenners auf etwa 700 bis 800° erhitzt wurde, und ihre Temperatur sowohl aus der Formel berechnet, als auch auf calorimetrischem Wege bestimmt wurde.

Ferner wurde das Strahlungsvermögen verschiedener Körper (Kupfer 0,943, Kupfer mit Ruß bedeckt 1, Eisen 0,882, Platin 0,35 und Magnesiumoxychlorid 0,58) bestimmt, indem Scheibchen dieser Substanzen in einer bestimmten Stelle der Bunsen'schen Brenner erhitzt wurden. Rosetti fand nun unter Zugrundelegung obiger Werthe und der Berücksichtigung der Absorption der Erdatmosphäre aus Versuchen über die Erwärmung einer Thermosäule durch die Strahlung der Sonne, die effective Temperatur[1]) derselben zu 9965,4° oder 20380,7°, je nachdem man auf die Absorption innerhalb der um die Photosphäre liegenden Sonnenatmosphäre Rücksicht nimmt oder nicht.

So sehr wichtig es nun auch wäre, die Temperatur unserer Schmelzöfen für Glas, die verschiedenen Metalle u. dergl., die man bis jetzt auf keine andere Weise genau bestimmen kann, durch Messung der strahlenden Wärme festzustellen, so wenig Aussicht ist doch, vorläufig wenigstens, auf Erfüllung dieses Wunsches. Nicht allein ist das Wärmeausstrahlungsvermögen der verschiedenen Körper sehr ungleich, die Ausstrahlung ist auch nicht der Temperatur proportional. So zeigt Soret[2]) neuerdings, daß das Gesetz von Dulong und Petit für hohe Temperaturen keine Gültigkeit hat. Läßt man nämlich einen elektrischen Strom durch einen leitenden Draht gehen, so steigt die Temperatur desselben bis zu dem Grade, daß die Wärme, welche er durch Strahlung, durch die Berührung mit der Luft und durch die Leitung an den Befestigungspunkt verliert, gleich ist der Wärme, welche die Elektricität in seinem Innern entwickelt. Man kann nun einerseits diese Wärmemenge berechnen, andererseits, indem man die Temperatur schätzt, welche der Draht annimmt, die Wärmemenge bestimmen, die er nach dem Dulong und Petit'schen Gesetze ausstrahlen muß. Ein 0,32 mm dicker und 385 mm langer Platindraht, dessen Oberfläche somit 385 qmm betrug, wurde nun durch

---

[1]) Effective Temperatur der Sonne ist nach Rosetti diejenige, welche ein glühender Körper von gleichen Dimensionen in gleicher Entfernung haben müßte, um eine gleiche thermische Wirkung zu erzeugen, falls er ein Emissionsvermögen gleich Eins besäße. — Sonstige neuere Angaben über die Temperatur der Sonne sind:

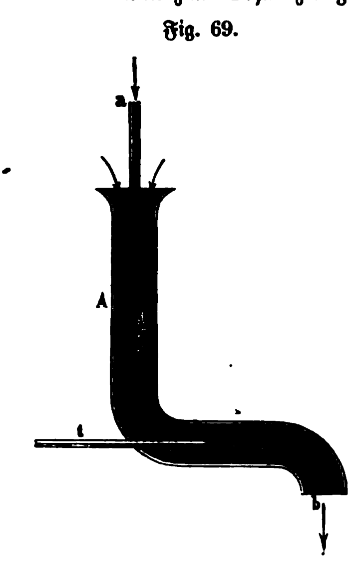
Secchi (1873)	5 801 846°
Derselbe (1874)	133 780 bis 169 980°
Zöllner	61 350°
Berthelot (1878) . .	über 2 500°
Deville	2 500 bis 2 800°
Violle (1876)	2 500°

Wohl der beste Beweis, wie wenig wir bis jetzt im Stande sind, hohe Temperaturen mittels des Spectroskopes, des Thermomultiplicators und ähnlicher Apparate auch nur annähernd zu bestimmen.

[2]) Dingl. 1879, **233**, 405.

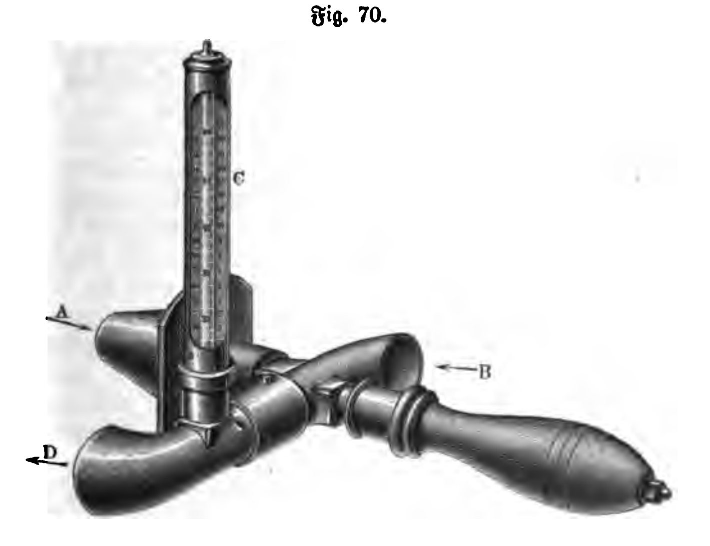
den Strom einer dynamo-elektrischen Maschine von 42,3 W.-E. Wärmeentwickelung in der Minute zum Schmelzen gebracht, während schon die Oberfläche von 3 qcm bei 1700° nach der Dulong und Petit'schen Formel in der Minute 146 W.-E. ausstrahlen sollte, was nicht möglich ist, da höchstens 42 W.-E. zugeführt wurden. Ferner zeigt Buff[1]), daß feuchte Luft weniger diatherman ist als trockne Luft, und Crown[2]), daß Feuchtigkeit, Rauch und sonstige Verunreinigungen der Luft die Absorption der Wärmestrahlen verstärkt — alles kaum zu vermeidende Fehlerquellen.

Fig. 69.



Die Temperatur des heißen Gebläsewindes wird häufig dadurch bestimmt, daß derselbe mit einer bestimmten Menge kalter Luft gemischt wird, so daß die Temperatur des Gemisches nun mit einem Quecksilberthermometer bestimmt werden kann. Bradbury[3]) sucht dieses dadurch zu erreichen, daß er heiße und kalte Luft unter demselben Druck in ein Gehäuse leitet, in welchem das Quecksilberthermometer eintaucht. Wenn man nach seiner Angabe den Querschnitt des

Fig. 70.



Kaltwindrohres 9 mal so groß nimmt als den des Heißwindrohres, so erhält

[1]) Pogg. Ann. 158, 177; Dingl. 1876, 222, 189. — [2]) Ann. chim. phys. 11, 433; Dingl. 1878, 227, 507. — [3]) Dingl. 1877, 223, *620.

man die Temperatur des heißen Gebläsewindes, wenn man von dem 10fachen der Mischtemperatur das 9fache der Temperatur des kalten Gebläsewindes abzieht, eine Angabe, die wegen der verschiedenen Temperatur und der Reibungswiderstände doch wohl nicht ganz richtig ist.

Fig. 71.



Fig. 72.

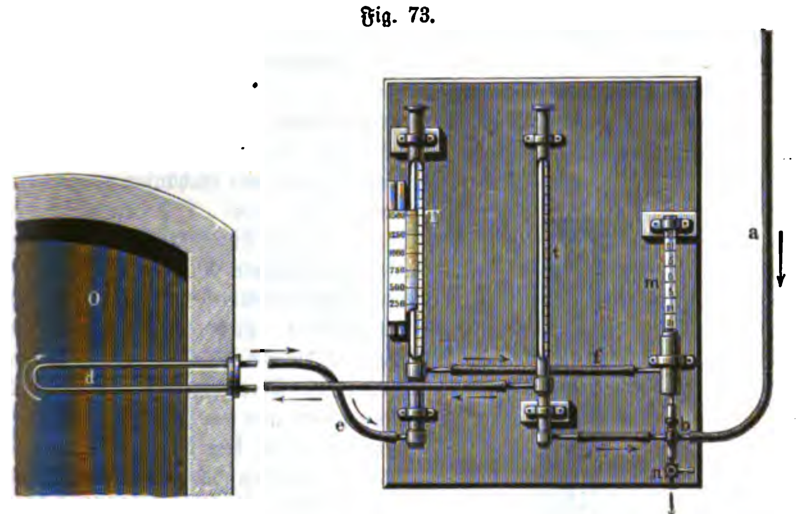
Durch Einfachheit zeichnet sich der auf dem Eisenwerk Denain verwendete Apparat aus[1]). Durch das Rohr *a* (Fig. 69, a. v. S.) wird heiße Luft in das weitere Rohr *A* geblasen, welche wie bei den bekannten Strahlgebläsen seitlich kalte Luft ansaugt; die Temperatur des bei *b* entweichenden Gemisches wird durch das Thermometer *t* gemessen. In ähnlicher Weise tritt bei dem Pyrometer von Hobson[2]) der heiße Wind durch das Rohr *A* (Fig. 70, a. v. S.) ein, welcher mittels einer entsprechenden Vorrichtung durch das Rohr *B* kalte Luft ansaugt. Die Temperatur des aus dem Rohre *D* austretenden Gemisches wird durch das Thermometer *C* bestimmt. Für beide Apparate ist durch Vorversuche festzustellen, in welchem Verhältniß die Temperatur des heißen Windes und die Angabe des Thermometers *C* stehen.

Das Pyrometer von Möller (D. R. P. Nr. 5882) besteht im Wesentlichen aus einem kleinen Kessel *A* (Fig. 71) und dem Halse *B*, welcher diesen mit dem Zuleitungsrohre *C* und dem Ableitungsrohre *D* verbindet. Diese Theile sind aus dünnem Kupferblech hergestellt; der Kessel *A* ist außen vergoldet. Der Hals besteht aus zwei concentrischen Röhren, von denen die äußere cylindrisch, die innere, wie der Querschnitt Fig. 72 zeigt, cannellirt ist, unten aber cylindrisch ausläuft und hier die Kugel eines Thermometers *E* umschließt, dessen Glasrohr durch das cannelirte Kupferrohr nach oben geht. Beim Gebrauche wird der untere Theil des Apparates der zu messenden Temperatur ausgesetzt, durch das Rohr *C* aber Wasser eingeführt, dessen Temperatur an dem Thermometer *F* abgelesen wird. Das Wasser fließt zwischen dem cannelirten inneren und äußeren Rohr des Halses nach unten, wird an den Wandungen des Kessels erwärmt, steigt im inneren Rohre, welches das Thermometer enthält, wieder nach oben und fließt durch das Rohr *D* ab. Die Temperatur wird aus der durch die beiden Thermometer *E* und *F* bestimmten Wärmezunahme des durchfließenden Wassers auf Grund vorheriger Versuche berechnet.

[1]) Kerpely: Eisen und Stahl (Leipzig, 1879), S. 21. — [2]) Dingl. 1876, 222, *46.

Dasselbe Princip wendet Graf Saintignon (D. R. P. Nr. 5731) an. Durch das Rohr *a* mit Hahn *b* (Fig. 73) fließt ein gleichmäßiger Strom Wasser zu, dessen Temperatur durch das Thermometer *t* bestimmt wird. Derselbe geht

Fig. 73.



dann durch das im Ofen *O* liegende Kupfer- oder Porzellanrohr *d*, von hier durch das Rohr *e* zum Thermometer *T* und durch das Rohr *f* nach dem offenen Manometer *m*, um schließlich durch den Hahn *n* wieder abzufließen. Die Temperatur des Ofens wird hier ebenfalls aus der Wärmeaufnahme des Wassers berechnet, wie sie von den beiden Thermometern angezeigt wird.

Da es wohl kaum ein Wasser giebt, welches nicht wenigstens Spuren eines Niederschlages absetzt, der aber, wie auch jede noch so geringe Oxydschicht oder Rußablagerung, die Wärmeübertragung beeinflußt, da es ferner sehr zweifelhaft ist, ob der Wärmeübergang der äußeren Temperatur proportional ist, so wird man derartige Temperaturbestimmungen nur mit Vorsicht aufnehmen dürfen.

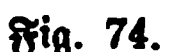
Besonders häufig sind hohe Temperaturen dadurch bestimmt worden, daß man die von einem festen Körper aufgenommene Wärme, welcher auf die zu messende Temperatur erhitzt war, durch Eintauchen auf eine größere Menge Flüssigkeit vertheilte. Coulomb[1]) bestimmte so die zum Härten von Stahl angewendete Hitze, Clement-Desormes[2]) mittels einer in Wasser getauchten Eisenplatte die Temperatur der aus dem Schornstein entweichenden Gase. Auch Gay-Lussac[3]) empfahl, Metallringe der zu messenden Hitze auszusetzen und aus der Temperaturzunahme des durch Einlegen der Ringe erwärmten Wassers dieselbe zu berechnen. Pouillet[4]) bestimmte gleichzeitig hohe Temperaturen mittels einer 178 g schweren Platinkugel und Wasser. Aehnliche Bestimmungen führte Arago aus[5]).

[1]) Pogg. Ann. **14**, 530. — [2]) Dingl. 1829, **33**, 145. — [3]) Dingl. 1837, **63**, 285. — [4]) Dingl. 1837, **63**, 219. — [5]) Ann. chim. phys. **64**, 334.

Miller[1]) kühlt den erhitzten Platincylinder in Quecksilber, ein Verfahren, welches L. Schwartz bereits im Jahre 1826 anwendete und von dem Schubarth[2]) zeigt, daß es ungenau ist.

Wilson[3]) verwendet wieder Wasser mit Platin oder kleinen Thonstücken. Auch Schinz[4]) bespricht die Bestimmung hoher Temperaturen mittels Platinkugel und Wasser. Ein diesem ähnliches Pyrometer hat sich Bystrom[5]) im Jahre 1862 in England patentiren lassen.

Siemens nimmt wie Wilson[6]) als Calorimeter ein Kupfergefäß A (Fig. 74) mit einer Pinte (568 ccm) Wasser, welches zur Verminderung der Wärmeausstrahlung mit zwei Gehäusen umgeben ist, wovon das eine Luft enthält, das andere aber mit Filz gefüllt ist. Das durch eine durchlöcherte Metallhülse geschützte Quecksilberthermometer b hat neben der gewöhnlichen noch eine verschiebbare Scala c, die mit 50 Graden auf je einen Grad des Thermometers graduirt ist. Man schiebt nun den Nullpunkt der Pyrometerscala c an den Temperaturgrad des Wassers, welchen das Quecksilberthermometer angiebt, setzt einen Kupfercylinder d, dessen Wärmecapacität genau $^1/_{50}$ von dem des mit Wasser gefüllten Calorimeters beträgt, der zu messenden Temperatur aus und läßt ihn dann ins Wasser fallen. Man erhält die gesuchte Temperatur, wenn man zu der an der Scala c abgelesenen die Temperatur des Wassers zuzählt.


Fig. 74.



Salleron[7]) füllt in ein ähnliches Calorimeter 500 ccm Wasser, wirft einen auf die messende Wärme erhitzten 100 g schweren Kupfercylinder hinein und rührt um. Die Temperatur berechnet er mittels der Formel $T = 50\ (t' - t) + t'$. Hat z. B. vor dem Einsenken des Kupfercylinders das Wasser im Calorimeter die Temperatur $t = 15^0$, nach Beendigung des Versuches $t' = 25^0$, so ist die gesuchte Temperatur $T = 50\ (25 - 15) + 25 = 525^0$. Da hier und bei dem Pyrometer von Siemens keine Rücksicht genommen ist auf die bei höherer

---

[1]) Dingl. 1848, 108, *115. — [2]) Dingl. 1848, 110, 32. — [3]) Dingl. 1852, 125, *432. — [4]) Wärmemeßkunst, 1858, S. 53. — [5]) Mechanics Journ. II, 8, 15. — [6]) Dingl. 1860, 158, *108. — [7]) Scient. Ann. 1875, *50.

Temperatur voraussichtlich zunehmende specifische Wärme des Kupfers, so sind die mit diesen Pyrometern erhaltenen Resultate wohl nicht genau.

Weinhold[2]) fand, daß sich beim Platin eine Zunahme der mittleren specifischen Wärme bis gegen 250° zeigt; dann nimmt dieselbe ab, später wieder zu (vergl. S. 64). Die specifische Wärme des Schmiedeisens wächst dagegen mit der Temperatur so regelmäßig, daß sie die Anwendung einer Interpolationsformel zuläßt. Die wahre specifische Wärme des Schmiedeisens bei der Temperatur t ist hiernach: $c_t = c_0 + \alpha t + \beta t^2$, die mittlere specifische Wärme zwischen t_1 und t_2:

$$\frac{W}{t_2 - t_1} = c_0 + \frac{\alpha}{2}(t_2 + t_1) + \frac{\beta}{3}\,\frac{t_2^2 + t_1^2 + (t_2 + t_1)^2}{2}.$$

Die Constanten sind $c_0 = 0{,}105907$, $\alpha = 0{,}00006538$ und $\beta = 0{,}00000066477$.

Schneider[1]) bedient sich dieser Formel zur Bestimmung hoher Temperaturen mittels einer schmiedeisernen Kugel. Er hat zu diesem Zweck eine Anzahl von Tabellen berechnet, welche S. 62 verkürzt wiedergegeben sind. Dieselben enthalten die von 1 kg Schmiedeisen abzugebende Wärmemenge, wenn dasselbe von der Temperatur T auf t_1 abgekühlt wird, also den Werth:

$$c_m\,(T - t_1) = \frac{(G_s + W)\,(t_1 - t_0)}{P}.$$

Soll z. B. die Temperatur T bestimmt werden, und hat man eine schmiedeiserne Kugel vom Gewichte $P = 14{,}352\,g$ auf dieselbe Temperatur erwärmt, und findet man, nachdem die Kugel im Calorimeter, dessen Wasserwerth 23,6 g ist und welches 1020,4 g Wasser von $t_0 = 16{,}4^0$ enthält, eine Endtemperatur $t_1 = 18{,}8^0$, so ergiebt sich die Temperatur T aus der Gleichung:

$$T - t_1 = \frac{(G_s + W)\,(t_1 - t_0)}{c_m P} = \frac{1044 \times 2{,}4}{14{,}352\,c_m},$$

in welcher c_m die mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens innerhalb der Temperaturen T und t_1, also eine Function der noch unbekannten Temperatur T ist. Statt für c_m den oben angegebenen Werth in die Gleichung einzusetzen, deren Lösung sehr zeitraubend wäre, findet man leicht:

$$c_m\,(T - t_1) = \frac{1044 \times 2{,}4}{14{,}352} = 174{,}58 \text{ W.-E.}$$

Für t_1 ist die Differenz für 0,1° zwischen 10 bis 20° = 0,0107, 20 bis 30° = 0,0108, 30 bis 40° = 0,0108, somit $c_m'\,(T - 19) = 174{,}601$ W.-E. In der Horizontalreihe für $t_1 = 19$ findet man für den zunächst kleineren Werth 170,87 die Temperatur 1050°. Mit Hülfe der unten angegebenen Differenzwerthe für 1° von T ergiebt sich für 174,60 — 170,87 der Zuschlag 3,73 : 0,253 = 15, also eine Gesammttemperatur von 1065°.

---

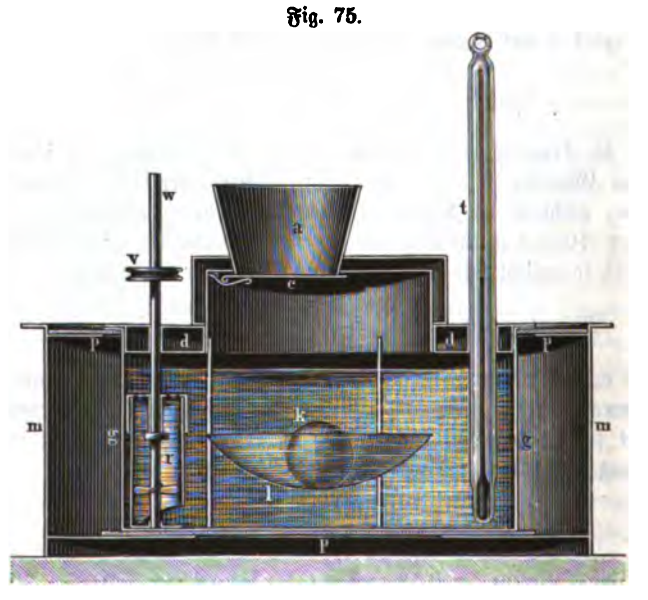
[1]) Programm der Gewerbsch. Chemnitz, 1873, 32. — [2]) Zeitschr. Ver. Deutsch. Ing. 1875, *16.

Die Differenzwerthe für $T = 1^0$ betragen für:

300 bis 350°	= 0,1342		700 bis 750°	= 0,1883
350 „ 400	= 0,1398		750 „ 800	= 0,1965
400 „ 450	= 0,1457		800 „ 850	= 0,2051
450 „ 500	= 0,1520		850 „ 900	= 0,2140
500 „ 550	= 0,1586		900 „ 950	= 0,2233
550 „ 600	= 0,1655		950 „ 1000	= 0,2329
600 „ 650	= 0,1728		1000 „ 1050	= 0,2428
650 „ 700	= 0,1803		1050 „ 1100	= 0,2530

Schneider hat das von Weinhold angegebene Calorimeter dahin abgeändert, daß das Calorimetergefäß *g* (Fig. 75) in ein größeres Gefäß *m* von Weißblech eingesetzt und gegen dasselbe durch starke Pappendeckel *p* isolirt ist, so daß zwischen den Wandungen der beiden Gefäße eine Luftschicht bleibt. Das

Fig. 75.

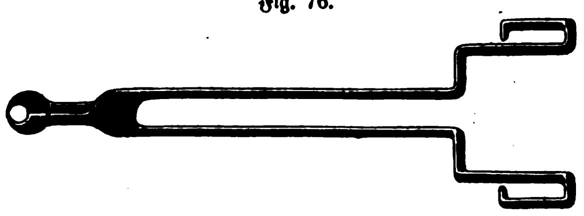


Gefäß *m* wird dann noch in einen Holzeimer eingesetzt. Der Deckel *d* trägt das Thermometer *t*, die Welle *w* des durch die Scheibe *v* in Umdrehung versetzten Rührers *r* und einen Aufsatz mit dem Trichter *a*. Die doppelt durchbohrte schmiedeeiserne Kugel *k* wird mittels der Zange Fig. 76 der zu messenden Temperatur ausgesetzt, dann in den Trichter *a* geworfen, worauf sich der Deckel *c* öffnet, die Kugel in das Sieb *l* fallen läßt und dann sofort wieder schließt.

Die von Weinhold und von Schneider angegebenen Calorimeter sind etwas schwerfällig, auch nicht hinreichend gegen Wärmeverluste geschützt; ich habe mir daher folgenden einfachen Apparat herstellen lassen, dessen Durchschnitt Fig. 77

in $^1/_3$ natürlicher Größe zeigt. Der 50 mm weite Cylinder *A* aus dünnem Kupferblech hängt in der Holzbüchse *B*. Der Raum zwischen Holzbüchse

Fig. 76.



und Blechgefäß ist mit langfaserigem Asbest oder Glaswolle gefüllt. Der Apparat wird durch eine dünne Messingplatte geschlossen, welche eine größere Oeffnung *d* von 20 mm Durchmesser für den Rührer *c* und zum Einwerfen der Metallcylinder, sowie eine kleine Oeffnung für das Thermometer *t* hat. Das Normalthermometer von Geißler in Bonn, mit sehr kleinem Quecksilbergefäß

Fig. 77.

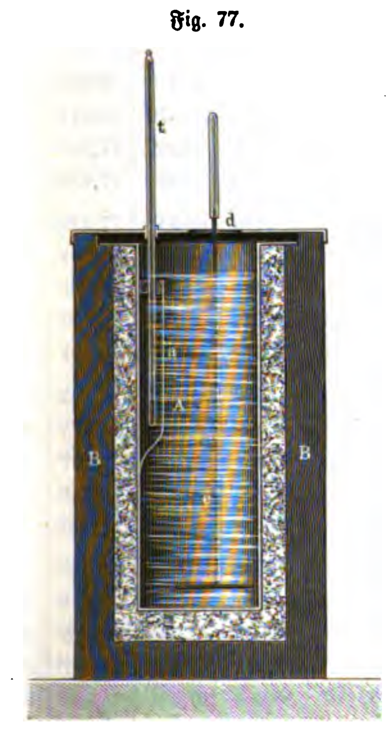


Fig. 78.

für 0 bis 50° ist in 0,1° getheilt, so daß man noch 0,01 Grade schätzen kann; es wird durch den Bügel *a* aus dünnem Kupferblech vor Zerbrechen durch den Rührer geschützt. Der Rührer besteht aus einer runden Kupferscheibe, welche an einen starken Kupferdraht gelöthet ist; derselbe ist oben in einen Glasstab eingeschmolzen, der als Handgriff dient. Das Kupfergefäß wiegt z. B. 35,905 g, der Rührer ohne Glasstab 6,445 g, daher Wasserwerth des Calorimeters (specifische Wärme des Kupfers 0,094) 3,98 g, mit dem Thermometer 4 g; als Kühlwasser verwendete ich 246 g, so daß der Wasserwerth des gefüllten Calorimeters 250 g betrug.

Zur Messung der Temperaturen benutze ich doppelt durchbohrte schmiedeiserne Cylinder von 13 mm Durchmesser und etwa 20 mm Länge, welche 20 g wiegen. Dieselben werden in einem bedeckten eisernen Gefäß (Fig. 78), welches an einem 0,5 bis 1 m langen eisernen Stiele mit hölzernem Handgriff befestigt ist, der zu messenden Hitze ausgesetzt, zum Calorimeter gebracht und nach Abheben

$T =$	300	350	400	450	500	550	600	650
$t_1 = 10$	34,250	40,959	47,949	55,235	62,833	70,762	79,036	87,674
11	34,143	40,853	47,842	55,128	62,726	70,655	78,929	87,567
12	34,036	40,746	47,735	55,021	62,620	70,548	78,823	87,460
13	33,929	40,639	47,628	54,914	62,513	70,441	78,716	87,353
14	33,823	40,532	47,521	54,807	62,406	70,334	78,609	87,246
15	33,716	40,425	47,414	54,700	62,299	70,227	78,502	87,139
16	33,609	40,318	47,307	54,593	62,192	70,120	78,395	87,032
17	33,502	40,211	47,201	54,486	62,085	70,013	78,288	86,925
18	33,395	40,104	47,094	54,379	61,978	69,907	78,181	86,819
19	33,288	39,997	46,987	54,273	61,871	69,800	78,074	86,712
20	33,181	39,890	46,880	54,166	61,704	69,693	77,967	86,605
21	33,074	39,783	46,772	54,058	61,657	69,585	77,860	86,497
22	32,966	39,675	46,665	53,950	61,549	69,478	77,752	86,390
23	32,858	39,568	46,557	53,842	61,442	69,370	77,644	86,282
24	32,751	39,460	46,450	53,735	61,334	69,262	77,537	86,174
25	32,643	39,353	46,342	53,628	61,226	69,155	77,429	86,067
26	32,536	39,245	46,234	53,520	61,119	69,147	77,322	85,959
27	32,428	39,137	46,127	53,413	61,011	68,940	77,214	85,852
28	32,321	39,030	46,019	53,305	60,904	68,832	77,107	85,744
29	32,213	38,922	45,912	53,197	60,796	68,724	76,999	85,637
30	32,105	38,815	45,804	53,090	60,689	68,617	76,891	85,529
31	31,997	38,706	45,696	52,982	60,580	68,509	76,783	85,421
32	31,889	38,598	45,588	52,873	60,472	68,400	76,675	85,312
33	31,781	38,490	45,479	52,765	60,364	68,292	76,567	85,204
34	31,672	38,382	45,371	52,657	60,255	68,184	76,458	85,196
35	31,564	38,273	45,263	52,548	60,147	68,075	76,350	84,988
36	31,456	38,165	45,154	52,440	60,039	67,967	76,242	84,879
37	31,348	38,057	45,046	52,332	59,931	67,859	76,134	84,771
38	31,239	37,948	44,938	52,224	59,822	67,751	76,025	84,663
39	31,130	37,840	44,830	52,115	59,714	67,642	75,917	84,554
40	31,023	37,732	44,721	52,007	59,606	67,534	75,809	84,446
41	30,914	37,623	44,612	51,898	59,497	67,425	75,700	84,337
42	30,805	37,514	44,503	51,789	59,388	67,316	75,591	84,228
43	30,696	37,405	44,394	51,680	59,279	67,207	75,482	84,119
44	30,587	37,296	44,285	51,571	59,170	67,098	75,373	84,010
45	30,478	37,187	44,176	51,462	59,061	66,989	75,264	83,901

700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
96,691	106,10	115,93	126,18	136,89	148,05	159,69	171,83	184,48
96,584	106,00	115,82	126,08	136,78	147,94	159,59	171,72	184,38
96,477	105,89	115,72	125,97	136,67	147,84	159,48	171,62	184,27
96,370	105,78	115,61	125,86	136,56	147,73	159,37	171,51	184,16
96,263	105,68	115,50	125,76	136,46	147,62	159,26	171,40	184,05
96,156	105,57	115,39	125,65	136,35	147,51	159,16	171,30	183,95
96,049	105,46	115,29	125,54	136,24	147,41	159,05	171,19	183,84
95,942	105,36	115,18	125,44	136,14	147,30	158,94	171,08	183,73
95,386	105,25	115,07	125,33	136,03	147,19	158,84	170,98	183,63
95,729	105,14	114,97	125,22	135,92	147,09	158,73	170,87	183,52
95,622	105,03	114,86	125,12	135,82	146,98	158,62	170,76	183,41
95,514	104,93	114,75	125,02	135,71	146,87	158,52	170,65	183,31
95,407	104,82	114,65	124,90	135,60	146,77	158,41	170,55	183,20
95,299	104,71	114,54	124,79	135,49	146,66	158,30	170,44	183,09
95,191	104,60	114,43	124,69	135,39	146,55	158,19	170,33	182,98
95,084	104,50	114,32	124,58	135,28	146,44	158,09	170,22	182,88
94,976	104,39	114,21	124,47	135,17	146,33	157,98	170,12	182,77
94,869	104,28	114,11	124,36	135,06	146,23	157,87	170,01	182,66
94,761	104,17	114,00	124,25	134,96	146,12	157,76	169,90	182,55
94,653	104,07	113,89	124,15	134,85	146,01	157,65	169,79	182,44
94,546	103,96	113,78	124,04	134,74	145,90	157,55	169,69	182,34
94,438	103,85	113,68	123,93	134,63	145,80	157,44	169,58	182,23
94,329	103,74	113,57	123,82	134,52	145,69	157,33	169,47	182,12
94,221	103,63	113,46	123,71	134,42	145,58	157,22	169,36	182,01
94,113	103,53	113,35	123,61	134,31	145,47	157,11	169,25	181,90
94,005	103,42	113,24	123,50	134,20	145,36	157,01	169,14	181,80
93,896	103,31	113,13	123,39	134,09	145,25	156,90	169,04	181,69
93,788	103,20	113,03	123,28	133,98	145,15	156,79	168,93	181,58
93,680	103,09	112,92	123,17	133,87	145,04	156,68	168,82	181,47
93,571	102,98	112,81	123,06	133,77	144,93	156,57	168,71	181,36
93,463	102,88	112,70	122,96	133,66	144,82	156,46	168,60	181,25
93,354	102,77	112,59	122,85	133,55	144,71	156,36	168,49	181,15
93,245	102,66	112,48	122,74	133,44	144,60	156,25	168,39	181,04
93,136	102,55	112,37	122,63	133,33	144,49	156,14	168,28	180,93
93,027	102,44	112,27	122,52	133,22	144,39	156,03	168,17	180,82
92,918	102,33	112,16	122,41	133,11	144,28	155,92	168,06	180,71

des Deckels *e* durch die Deckelöffnung *d* eingeworfen. Der Eisencylinder fällt regelmäßig auf die Platte des Rührers; durch Heben und Senken desselben wird die Wärme sehr rasch dem Wasser gleichmäßig mitgetheilt, so daß nach kaum einer Minute das Thermometer die Endtemperatur anzeigt. Correctionen wegen Verdampfung von Wasser oder Temperaturunterschiede der äußeren Luft sind nicht erforderlich, da die Verdunstung verschwindend klein, die Isolirung des Calorimeters aber so vollkommen ist, daß bei einer Lufttemperatur von 18,6° die Temperatur desselben von 25,1° innerhalb 2 Stunden auf nur 22,8° fiel. Die mit dem Apparat [1]) erzielten Resultate sind sehr befriedigend, und kann ich denselben namentlich auch für Reisen empfehlen [2]). Das Kühlwasser muß gewechselt werden, sobald dasselbe etwa 40° warm wird. Bei Bestimmung hoher Temperaturen ist es kaum zu umgehen, den eisernen Cylinder nach jedem Versuch abzuputzen und wieder zu wiegen, so daß man sich mit einer entsprechenden Anzahl derselben versehen muß. Um dieses zu vermeiden, habe ich auch Versuche mit einem 18,472 g schweren Platincylinder gemacht. Nach J. Violle [3]) ist die specifische Wärme des Platins zwischen 0 und 1200° $C_0^t = 0{,}0317 + 0{,}000006\,t$. Daraus ergeben sich folgende Werthe:

$C_0^{100} = 0{,}0323$	$C_0^{500} = 0{,}0347$	$C_0^{900} = 0{,}0371$
$C_0^{200} = 0{,}0329$	$C_0^{600} = 0{,}0353$	$C_0^{1000} = 0{,}0377$
$C_0^{300} = 0{,}0335$	$C_0^{700} = 0{,}0359$	$C_0^{1100} = 0{,}0383$
$C_0^{400} = 0{,}0341$	$C_0^{800} = 0{,}0365$	$C_0^{1200} = 0{,}0389$

Die wahre specifische Wärme des Platins $\frac{dQ}{dt}$ bei t° ist innerhalb derselben Grenzen $\gamma_t = 0{,}0317 + 0{,}000012\,t$, woraus sich ergiebt:

$$\gamma_{100} = 0{,}0329,\ \gamma_{500} = 0{,}0377,\ \gamma_{1000} = 0{,}0437,\ \gamma_{1200} = 0{,}0461.$$

Die Schmelztemperatur des Platins ergab sich mit Hülfe dieser Werthe zu 1779°, wird aber wohl noch etwas niedriger sein, da die specifische Wärme des Platins in der Nähe des Schmelzpunktes offenbar rascher wächst.

Die mit dem Platincylinder erhaltenen Angaben stimmen zwar gut, die Vortheile desselben entsprechen aber doch wohl nicht immer den Kosten (26,50 Mk.) eines solchen, im Verhältniß zu den Eisencylindern.

Nach den ferneren Versuchen von Violle [4]) schmilzt Palladium bei 1500°, mit einer latenten Schmelzwärme von 36,3 W.-E. Die mittlere specifische Wärme zwischen 0° und *t*° beträgt:

t	t	t
100 = 0,0592	500 = 0,0632	900 = 0,0672
200 = 0,0602	600 = 0,0642	1000 = 0,0682
300 = 0,0612	700 = 0,0652	1200 = 0,0702
400 = 0,0622	800 = 0,0662	1300 = 0,0712

---

[1]) W. Apel in Göttingen liefert den Apparat mit fünf Eisencylindern, aber ohne Thermometer, für 25 Mark. — [2]) Dingl. 1879, 232, 432; 233, 139. — [3]) Compt. rend. 85, 543. — [4]) Compt. rend. 87, 981.

entsprechend der Formel 0,0582 + 0,00001 t; die wahre specifische Wärme ist = 0,0582 + 0,00002 t, somit bei 0° = 0,0582, bei 1000° = 0,0782. Des hohen Preises wegen wird sich aber Palladium kaum zu solchen Versuchen eignen.

Es dürfte sich noch fragen wie weit bei diesen calorimetrischen Bestimmungen die specifische Wärme des Wassers zu berücksichtigen ist.

Bekanntlich leitete Regnault aus seinen Untersuchungen folgenden Ausdruck für die specifische Wärme des Wassers bei t^0 her:

$$c_t = 1 + 0{,}00004\,t + 0{,}000\,0009\,t^2.$$

Nach dieser Formel ist die Aenderung mit der Temperatur so klein, daß man sie bei den gewöhnlichen Untersuchungen über specifische Wärme vernachlässigen darf.

Pfaundler, Hirn u. A. fanden dagegen wesentlich höhere Zahlen, Jamin und Amaury die Formel: $c_t = 1 + 0{,}0011\,t + 0{,}000\,0012\,t^2$. Aus den umfassenden Versuchen von Henrichsen [1]) ergiebt sich nun die wahre Wärmecapacität des Wassers bei t^0:

$$c_t = 1 + 0{,}000\,3156\,t + 0{,}000\,004\,045\,t^2.$$

Die specifische Wärme des Wassers ist demnach bei 10° = 1,0034 und bei 20° = 1,0079. Nach den neuesten Versuchen von Baumgartner [2]) ist $c_t = 1 + 0{,}000\,307\,t$, für 10° also 1,00 307, für 20° 1,00 614, so daß also die Wärmecapacität des Wassers nahezu constant ist.

Für 100° ist die specifische Wärme des Wassers nach Regnault = 1,013, nach Jamin = 1,122, nach Stamo = 1,125, nach Münchhausen 1,030 und nach Henrichsen = 1,071, nach Baumgartner 1,0307.

Die verschiedene specifische Wärme des Wassers ist daher wohl nur bei wissenschaftlich genauen Temperaturbestimmungen zu berücksichtigen.

Zuverlässige Apparate zur Bestimmung hoher Temperaturen sind demnach nur das Luftpyrometer, das Siemens'sche elektrische Pyrometer und das Calorimeter mit Eisen- oder Platincylinder. Ersteres ist nur für wohl eingerichtete Laboratorien geeignet, muß aber auch ferner als Normalwärmemesser bezeichnet werden, das elektrische Pyrometer ist leider theuer und etwas schwierig zu handhaben, sonst aber recht gut, das zuletzt beschriebene kleine Calorimeter ist dagegen billig, leicht zu handhaben und zuverlässig, wenn auch für längere Versuchsreihen nicht so bequem als das elektrische Pyrometer.

---

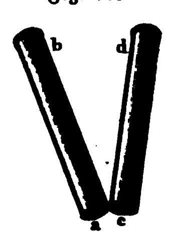
[1]) Ann. Phys. Chem. 8, 83. — [2]) Das. 8, 652.

Lichtmessung.

Geschichte. Nachdem schon Huygens versucht hatte das Licht der Sonne und des Sirius zu vergleichen, gab F. Maria[1]) an, daß man die Stärke eines Lichtes durch die Anzahl gefärbter Glasplatten bestimmen könne, die man aufeinanderlegen müsse um das Licht unmerklich zu machen. Lampadius[2]) stellte in gleicher Weise dünne Hornscheiben oder Papierblätter hinter einander auf, bis der leuchtende Gegenstand unsichtbar wurde, ein Verfahren, auf welches dann am 21. Mai 1875 M. Brown das englische Patent Nr. 1865 erhalten hat.

Bouguer[3]) verwendete zwei innen geschwärzte Röhren ab und cd, Fig. 79, welche bei b und d mit einer Glaslinse, bei a und c aber durch einen Deckel geschlossen waren, dessen kreisrundes 6 bis 8 mm weites Loch mit dünnem Papier oder einer matten Glasscheibe bedeckt war. Jede der Röhren wurde auf eine der zu vergleichenden Lichtquellen gerichtet, worauf man durch theilweises Bedecken der Glaslinsen den Lichteindruck bei a und c gleichmachte. Die Lichtstärken verhielten sich dann wie die Quadrate der nicht bedeckten Glasflächen. Aehnlich ist das Verfahren von Potter[4]) und das Lucimeter von Guerard[5]). Dieser Lichtmesser von Bouguer wurde dann dahin vereinfacht[6]), daß die Gläser bei b und d fortfielen, das auf die stärkere Lichtquelle gerichtete Rohr aber durch Ausziehen verlängert werden konnte, bis die Flecke bei a und c gleichstark erleuchtet waren; die Lichtstärken verhielten sich dann umgekehrt wie das Quadrat der Rohrlängen.

Fig. 79.



Celsius[7]) suchte die Lichtstärke durch die Entfernung zu bestimmen, aus welcher er noch fein gezeichnete Kreise erkennen konnte.

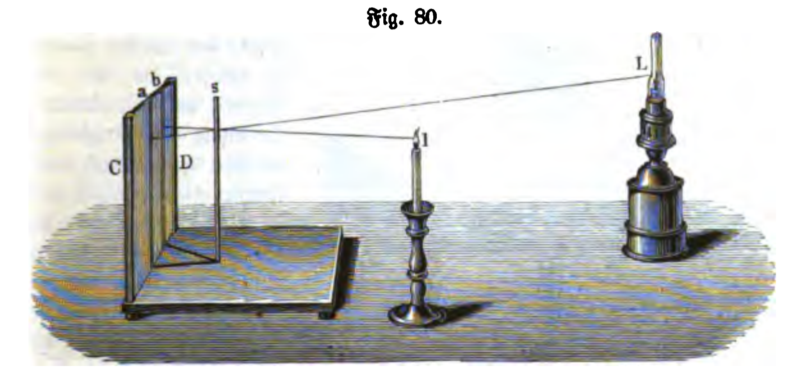
Lambert[8]) benutzte zuerst den Umstand, daß ein von zwei Flammen beleuchteter Gegenstand zwei Schatten wirft, die nicht gleich tief sind, wenn die Einwirkung der beiden Flammen auf die die Schatten auffangende Wand nicht ganz gleich ist. Es sei z. B. CD, Fig. 80, eine weiße Wand, vor welcher in einiger Entfernung der senkrechte berußte dünne und runde Eisenstab s steht, und l der eine, L der andere Lichtquell. Die beiden Lichte werden so gestellt, daß die

---

[1]) Nouvelles decouvertes sur la lumière (Paris 1700). — [2]) Beiträge zur Atmosphärologie (Freiberg 1817), S. 164. — [3]) Essai d'optique (Paris 1729). — [4]) Brewster, Journ. of scienc. III, 284. — [5]) Dingl. 1867, 185, 110. — [6]) Fischer: Physikalisches Wörterbuch 1800, Bd. 3, S. *887. — [7]) Hist. de l'Acad. de Paris 1735, 7. — [8]) Photometria (Augsburg 1760).

zwei Schatten *a* und *b* des Stabes *s* nicht zusammen, aber auch nicht weit von einander auf die Wand *CD* fallen. Es wird dann das stärkere Licht so weit von der Wand *CD* hinweggeschoben, bis die beiden Schatten *a* und *b* gleich tief sind, d. h. bis der Schatten *b* vom Lichte *L* so stark erleuchtet wird, als der Schatten

Fig. 80.



a vom Lichte *l*. Man beobachtet gewöhnlich in möglichst senkrechter Richtung auf die Wand *CD* von der Seite blickend, auf welcher sich die Lichte befinden, ob dies der Fall ist. Etwas genauer erkennt man aber nach dem Vorschlage von Pernot[1]) die vollkommen gleiche Tiefe der Schatten, wenn man die Wand *CD* aus durchscheinendem weißen Papier macht, sich hinter dieselbe stellt, und mit Hülfe eines Lichtes, das man nähert und entfernt, beobachtet, ob beide Schatten ganz gleichzeitig verschwinden beim Entfernen, und wieder sichtbar werden beim Nähern des Lichtes. Bezeichnet man nun die Entfernungen der Lichtquellen *l* und *L* vom Schirm mit *e* und *E*, so verhalten sich die Lichtstärken *i* und *J*, da die Intensität des Lichtes im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt[2]), $i : J = e^2 : E^2$, folglich $J = i\,\frac{E^2}{e^2}$.

Dasselbe Verfahren wurde dann von Rumford[3]) und von Fox[4]) etwas abgeändert, ohne es jedoch zu verbessern. Da es minder scharfe Angaben zuläßt, als das Photometer von Bunsen, so wird es nur noch wenig angewendet.

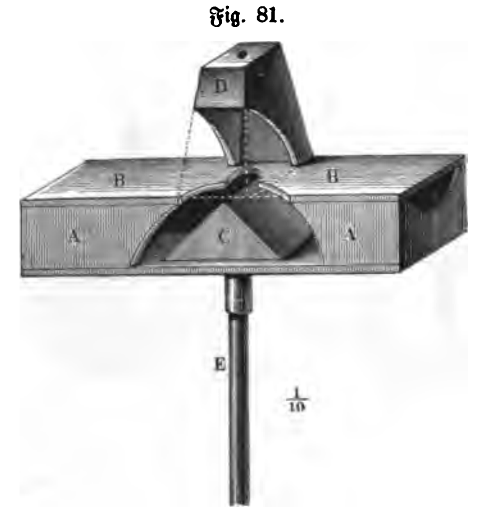
Leslie[5]) versuchte sein Differentialthermometer als Photometer zu benutzen; Ritchie[6]) verbesserte dieses Verfahren, ohne jedoch brauchbare Resultate erzielen zu können, da eben Licht und Wärme nicht proportional sind, wie bereits S. 46 gezeigt wurde.

Ritchie[7]) stellt in den Kasten *AB* (Fig. 81 a. f. S.) ein rechtwinkliges hölzernes Prisma *C* so auf, daß die Kante, in der sich die Seiten unter einem rechten Winkel schneiden, horizontal und zur Längsrichtung des Kastens senkrecht liegt. Gerade über der Prismenkante ist in der oberen Wand des Kastens *D* ein Loch

[1]) Dingl. 1851, 119, 156. — [2]) Poggendorff 150, 551. — [3]) Gren's neues Journal d. Phys. 2, *15. — [4]) Dingl. 1831, 40, *340. — [5]) Kurze Nachrichten von Versuchen; übers. von Brandes (Leipzig 1823), S. 66. — [6]) Phil. trans. 1825, *141. — [7]) Dingl. 1831, 40, 51.

angebracht, von dem aus man gleichzeitig beide, mit weißem Papier überzogene Seitenflächen des Prisma sieht. Die zu vergleichenden Flammen stehen so, daß sie durch die seitlich angebrachten halbkreisförmigen Oeffnungen hindurch das Prisma *C* bescheinen. Man rückt auf einem horizontalen Brette die eine der Flammen so lange, bis die beiden Flächen von *C*, durch die Oeffnung bei *D* gleichzeitig besehen, ganz gleich hell erleuchtet erscheinen. Dies Instrument kann auf einen hohen Grad von Genauigkeit nicht Anspruch machen, namentlich werden Täuschungen leicht dadurch veranlaßt, daß die zu vergleichenden Flammen häufig verschiedene Färbung zeigen, was auch auf den beiden reflectirenden Flächen sichtbar wird und eine scharfe Vergleichung sehr erschwert, ein Uebelstand, der auch durch die Verbesserung dieses Apparates von Poppe [1]) nicht gehoben wird [2]).

Fig. 81.



Fyfe [3]) glaubt als Maßstab der Leuchtkraft des Leuchtgases die Größe der Verdichtung beim Mischen mit Chlorgas empfehlen zu können, Sommerville [4]) das specifische Gewicht. Lippowitz [5]) will die Lichtstärke durch die Größe der Pupille des menschlichen Auges messen, Wright [6]) dieselbe aus der Verdunkelung eines weißen Fleckes durch ein übergeschobenes Rohr ableiten. Sämmtliche Vorschläge sind unbrauchbar. Ebensowenig scheint bis jetzt das Radiometer brauchbare Resultate zu liefern [7]). Erdmann meint, die Leuchtkraft eines Gases sei proportional der Luftmenge, die erforderlich ist, die Leuchtkraft zu vernichten. Blochmann [8]) und Schilling [9]) zeigten bereits, daß dieses nicht der Fall ist.

Heeren [10]) verwendet zu Lichtmessungen für photographische Zwecke die Dunkelfärbung des Silberpapiers, Vogel [11]) zu gleichem Zweck chromirtes Papier, Verfahren, die nur für den angegebenen Zweck brauchbar sind.

Lichteinheit. Ganz besonders schwierig ist die Beschaffung einer überall gleichmäßigen Lichteinheit. Bis jetzt werden noch fast durchweg Kerzen von Paraffin, Stearin, Wallrath und Wachs angewendet. Diese Stoffe sind aber keine be-

---

[1]) Dingl. 1859, **151**, *432. — [2]) Vergl. das. 1873, **207**, 487. — [3]) Dingl. 1842, **84**, 439; 1851, **122**, 46. — [4]) Journ. f. Gasbel. 1876, 123. — [5]) Poggend. **61**, 141; **63**, 348. — [6]) Dingl. 1869, **192**, 77. — [7]) Dingl. 1875, **216**, 188; 1876, **220**, *317. — [8]) Dingl. 1863, **169**, 136. — [9]) Gasbeleuchtung, S. 224. — [10]) Dingl. 1845, **96**, 26. — [11]) Dingl. 1868, **188**, 226.

stimmten chemischen Verbindungen, sondern Gemische, so daß es kaum möglich ist, daß die Kerzen immer dieselbe Zusammensetzung und damit auch dieselbe Leuchtkraft haben. Zu dieser durch die wechselnde Zusammensetzung bedingten Ungleichheit der Flamme kommt aber noch die größere Fehlerquelle hinzu, welche von der ungleich raschen Verbrennung herrührt und durch die Beschaffenheit des Kerzenmaterials selbst, namentlich aber durch den Docht bedingt wird. Steht dieser in einem richtigen Verhältniß zur Dicke und zum Schmelzpunkt der Kerze, so bildet sich bekanntlich eine Vertiefung, aus welcher der in der Mitte stehende Docht das geschmolzene Kerzenmaterial auffaugt und vergast. Ist er zu dick, so wird die Flamme zu breit, der Rand schmilzt zu rasch ab, die Kerze tropft und giebt meist kein ruhiges Licht. Ist der Docht aber zu dünn, so wird der Brennstoff zu langsam aufgesogen, dadurch aber der Vergasungsraum und damit auch die Flamme verkleinert, so daß auch jetzt wieder kein gleichmäßiges Licht zu erzielen ist.

Ueber den Einfluß der Dicke des Dochtes liegen umfassende Versuche von einer Commission des Vereins von Gas- und Wasserfachmännern Deutschlands vor [1]), welche für Paraffinkerzen, von denen 12 auf 1 kg gehen, bei einer 6- bis 7 stündigen Brennzeit im Durchschnitt von fünf Versuchen folgende Zahlen ergaben:

Zahl der Dochtfäden	Stündlicher Verbrauch in Grammen	Flammenhöhe in Millimetern
18	5,98 bis 6,50	39,8 bis 45,8
21	6,88 „ 7,10	44,6 „ 50,9
24	7,46 „ 7,85	48,3 „ 51,2
27	7,72 „ 8,40	51,9 „ 59,0
30	7,86 „ 8,70	53,0 „ 60,3
33	8,19 „ 8,90	55,0 „ 63,0
36	8,42 „ 8,78	55,4 „ 62,5

Das Endergebniß der Versuche war folgendes Verhältniß der Münchener Normalstearinkerzen, im Vergleich mit 24 fädigen Paraffinkerzen (12 = 1 kg):

---

[1]) Journ. f. Gasb. 1871, 526, 556.

	Münchener Stearin	Paraffin
Stündlicher Materialverbrauch		
Durchschnitt sämmtlicher Beobachtungen	10,92 g	7,708 g
Größte Abweichung der Einzeldurchschnitte . . . +	1,28 „	0,192 „
−	0,79 „	0,242 „
„ „ „ Einzelbeobachtungen . . +	3,08 „	0,592 „
−	1,07 „	0,648 „
Flammenhöhe		
Durchschnitt sämmtlicher Beobachtungen	60,8 mm	51,2 mm
Größte Abweichung der Einzeldurchschnitte . . . +	6,6 „	3,8 „
−	8,0 „	2,7 „
„ „ „ Einzelbeobachtungen . . +	7,2 „	9,8 „
−	12,8 „	8,2 „

Das Paraffin stellte sich somit am günstigsten, während nach anderen Versuchen Wallrath und Wachs weniger gleichmäßig sind (vergl. später: Leistung der Leuchtstoffe). Der Verein stellte daher folgende Bedingungen für die deutsche Normalkerze fest:

Die Photometerkerze soll einen Durchmesser von 20 mm erhalten, genau cylindrisch und so lang sein, daß 12 Kerzen 1 kg wiegen. Die Dochte sollen in möglichster Gleichförmigkeit aus 24 baumwollenen Fäden geflochten sein und trocken für jeden laufenden Meter 668 mg wiegen; sie sind durch einen eingelegten rothen Faden von anderen Dochten abzuzeichnen. Das Kerzenmaterial soll möglichst reines Paraffin sein und von einem nicht unter 55° liegenden Erstarrungspunkt. —

In München gilt noch als Einheit die eben erwähnte Stearinkerze, welche aus einem Stearin mit 76 bis 76,6 Proc. Kohlenstoff angefertigt sein soll. Dieselbe verzehrt nach Schilling [2]) in der Stunde im Durchschnitt 10,4 g Stearin bei 52 mm Flammenhöhe.

Die englische Wallrathkerze hat einen aus 3 Strängen mit je 17 Fäden geflochtenen Docht; sie soll stündlich 120 Grains (7,78 g) Wallrath verzehren, wobei sie eine Flammenhöhe von 45 mm hat. Bei Messungen von Leuchtgasflammen wird dieses in dem Argandbrenner Fig. 105, S. 92, verbrannt und zwar stündlich 142 Liter.

Verglichen mit der französischen Normalflamme (S. 73) ergaben sich nach den Versuchen von Schilling folgende Verhältnißzahlen:

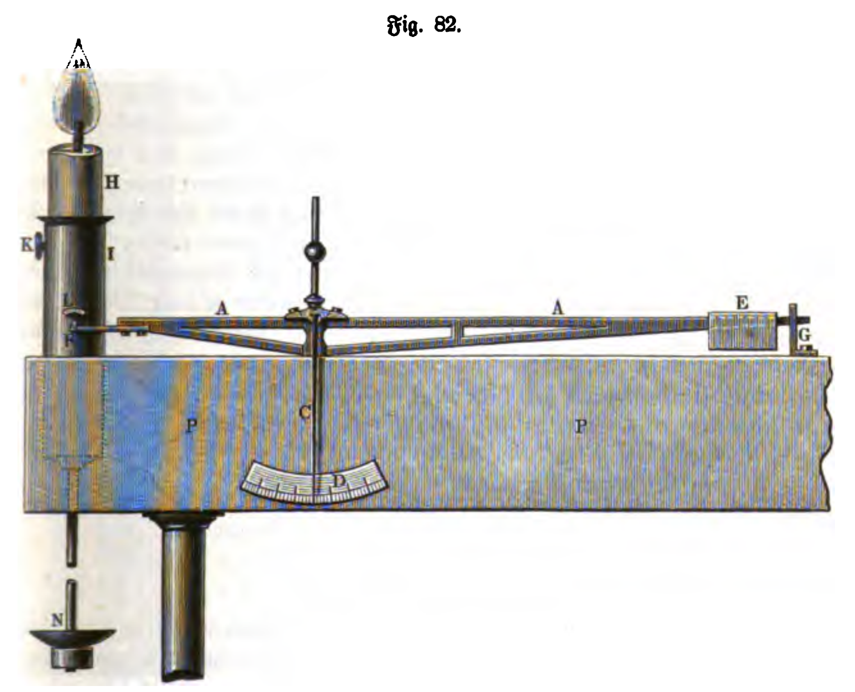
---

1) Dingl. 1872, 206, 329; vergl. 1861, 160, 267; 1870, 198, 497. — 2) Journ. f. Gasb. 1877, 190.

Pariser Lampe	Englische Wallrathkerze	Vereins-Paraffinkerze	Münchener Stearinkerze
1,000	7,435	7,607	6,743
0,134	1,000	1,023	0,907
0,132	0,977	1,000	0,887
0,148	1,102	1,128	1,000

Wolfsberger [1]) hat einen Apparat construirt, mit dem man die Größe der Flamme bequem messen kann; für gewöhnlich bedient man sich hierzu eines hinter der Flamme aufgestellten Maßstabes, oder aber eines gebogenen Drahtes von

Fig. 82.



entsprechender Länge (S. 70). Bei gleicher Flammenhöhe ist die Lichtstärke der verschiedenen Kerzen übrigens immer noch keineswegs völlig gleich.

Um den Brennstoffverbrauch einer Kerzenflamme zu bestimmen, bedient man sich einer gewöhnlichen Wage oder der Kerzenwage von Keates [2]). Die Normalkerze *H* (Fig. 82) wird mittels der Stellschraube *K* in den Halter *I* befestigt,

[1]) Dingl. 1871, 200. *102. — [2]) Schilling: Gasbeleuchtung, S. 209.

welcher mittels der Stahlarme L auf der Schneide F des ungleicharmigen Wagebalkens A ruht, dessen langer Arm mit einer Arretirung G versehen ist. Das Ganze ist auf einem Ende des Photometerarmes P befestigt. Man bringt nun die Kerze in ihre richtige Höhe, zündet sie an und wartet bis ihre Flamme normal ist. Ist dieses erreicht, so schiebt man das Gewicht E auf dem langen Arm des Balkens langsam der Mitte zu, so daß der kurze Arm das Uebergewicht bekommt und der Zeiger C nach rechts ausschlägt. Mit dem weiteren Brennen der Kerze wird dieselbe wieder leichter, der kurze Arm hebt sich und der Zeiger rückt regelmäßig dem Nullpunkt der Scala D entgegen. Sobald dieses erreicht ist, beginnt die Rechnung für den Verbrauch der Kerzenflamme. Sind die photometrischen Beobachtungen beendigt, so wird die Kerzenflamme gelöscht, und auch dieser Augenblick wieder angemerkt, dann soviel Gewicht in die Schale N eingelegt, daß der Zeiger wieder auf Null einsteht. Das Gewicht entspricht dem Kerzenmaterial, welches während der angemerkten Zeit verbrannt ist.

Dem gleichen Zweck dient das Kerzenaräometer von S. Elster [1]). In einem mit Wasser gefüllten Glascylinder befindet sich ein Blechschwimmer, der eine dünne Messingstange und auf dieser eine Schale trägt, auf welcher die Kerze in einer Tülle befestigt ist. An der Schale ist seitlich ein Zeiger befestigt, welcher auf einer daneben stehenden senkrechten Scala spielt, an welcher man 10 mg noch deutlich ablesen kann. Beim Beginn des Versuchs beschwert man den Teller derart, daß der Schwimmer unter den Nullpunkt der Scala hinuntergeht. Die Beobachtung beginnt, sobald der Zeiger den Nullpunkt wieder erreicht hat.

In Frankreich ist auf Vorschlag von Dumas und Regnault (s. S. 80) als Lichteinheit die Flamme einer mit Rüböl gespeisten Carcel'schen Lampe (Fig. 83) angenommen, deren Größenverhältnisse folgendermaßen festgestellt sind [2]):

Aeußerer Durchmesser des Dochtrohres	23,5 mm
Innerer " " "	17,0 "
Durchmesser des äußeren Luftzugrohres	45,5 "
Höhe des Glascylinders	290,0 "
Entfernung der Verengung des Cylinders vom Fuße desselben	61,0 "
Aeußerer Durchmesser des Cylinders unterhalb der Verengung	47,0 "
" " " " am oberen Ende	34,0 "
Mittlere Dicke des Glases	2,0 "

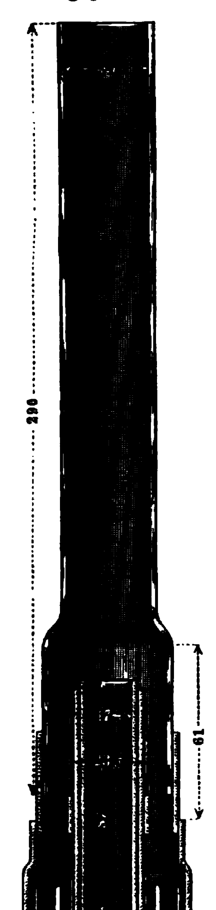
Der aus 75 Fäden geflochtene Docht soll trocken verwendet werden und für jeden Centimeter Länge 3,6 g wiegen. Zum Gebrauch setzt man einen neuen Docht ein, füllt die Lampe mit Oel bis zur Gallerie hinauf, pumpt das Oel auf und zündet die Lampe an. Der Docht wird 10 mm herausgeschroben, der Cylinder so aufgesetzt, daß die Verengung desselben 7 mm höher steht als der Docht, worauf dieser so eingeschraubt wird, daß jede Stunde genau 42 g Oel verbrannt werden, was meist mittels einer selbstthätigen Wage (Fig. 91, S. 79) geschieht.

Keates [3]) verwirft diese Anwendung von gereinigtem Rüböl zur Lichtein-

1) Dingl. 1870, 198, *493. — 2) Journ. f. Gasb. 1877, 190. — 3) Dingl. 1869, 194, *213.

heit, indem er mit Recht die ungleichmäßige Beschaffenheit dieses Oeles hervorhebt. Nach seinen Versuchen ist hierzu nur Wallrathöl von 0,88 specif. Gew. zu verwenden. Bei der von ihm verwendeten Moderateurlampe wird der regelmäßige Oelzufluß dadurch erreicht, daß im Dochthalter 12 mm unter dem oberen Rande eine Reihe Löcher oder Einschnitte angebracht sind, so daß von hierab nur die Capillaranziehung des Dochtes selbst zur Wirkung kommt. Die bei einem photometrischen Versuche verbrauchte Oelmenge wird mittels der S. 71 beschriebenen Wage ermittelt.

Fig. 83.



Edgerton[1]) verwendet eine Kerosinöllampe, läßt aber nicht die volle Flamme, sondern nur den Theil derselben auf das Photometer fallen, welcher durch das 12 mm im Durchmesser haltende runde Loch einer dunkeln Scheibe hindurchgeht. Oelverbrauch und Flammenhöhe sollen dann von nur sehr geringem Einfluß auf die Messungen sein.

Mehrfach hat man versucht, zur Herstellung der Lichteinheit eine Leuchtgasflamme zu verwenden; meist sind Einlochbrenner (S. 92), zuweilen aber auch Argandbrenner verwendet. Methven[2]) gebraucht als Lichteinheit einen Theil der leuchtenden Flamme desselben Gases, welches zu untersuchen ist, indem er von einer 3 Zoll (76 mm) hohen Flamme eines Argandbrenners den oberen und unteren Theil abblendet und als Normalflamme nur den Theil nimmt, welcher durch einen Spalt von 1 Zoll (25,4 mm) Länge und 1/4 Zoll (6,3 mm) Breite hindurchgeht. Er behauptet, daß die durch diesen Spalt fallende Lichtmenge genau zwei englischen Wallrathkerzen entspreche, gleichviel, ob das verbrannte Gas 15 oder 35 Kerzenstärke habe, eine Angabe, welche jedenfalls zweifelhaft ist.

Blochmann[3]) schlug vor, zur Herstellung der Lichteinheit Wasserstoff zu verwenden, welcher durch eine bestimmte Menge Benzol leuchtend gemacht ist.

Harcourt[4]) will in ähnlicher Weise ein Gemisch von atmosphärischer Luft und Pentan verwenden. Letzteres wird aus dem amerikanischen Erdöl durch fractionirte Destillation bei 50° als eine Flüssigkeit von 0,6298 bis 0,63 specif. Gew. und 37 Dampfdichte ($H = 1$) gewonnen, die nur wenig Hexan enthält. Man mischt eine bestimmte Menge hiervon mit einer gemessenen Menge Luft, in welcher die flüchtige Flüssigkeit rasch und vollständig verdampft und läßt dieses Gemenge aus einem Brenner von bestimmter Weite unter bestimmten Druck- und Temperaturverhältnissen aus-

[1]) Dingl. 1878, 229, *48. — [2]) Journ. f. Gasb. 1879, 42, 690. — [3]) Dingl. 1863, 169, 136. — [4]) Chem. News 36, 103.

strömen, so daß innerhalb einer gewissen Zeit ein bestimmtes Gasvolum verbrennt und dadurch eine völlig ruhige Flamme von bestimmter Höhe entsteht. Die Luft wird in einem durch Wasser abgesperrten Gasometer abgemessen und das Pentan als Flüssigkeit durch eine mit Hahn versehene Trichtervorrichtung hineingebracht. Die mit der Temperatur wechselnde geringe Absorptionsfähigkeit des Wassers für Pentan verursacht keine in Betracht kommenden Fehler, wie Harcourt durch besondere Versuche zeigt. Ebenso erwies sich bei verschiedenen Temperatur- und Druckverhältnissen das Gemenge als ein vollkommenes Gas, welches keine Condensation erleidet, wenn man es nicht einer Temperatur von 4° und einem Druck von 1,2 Atmosphären aussetzt.

Folgendes sind die Zahlenwerthe, durch welche die neue Lichteinheit bestimmt ist: 600 Vol. Luft werden mit dem Dampfe von 1 Vol. flüssigen Pentans (entsprechend 210 Vol. Dampf bei 15,6°) gesättigt; der Durchmesser des messingenen Brenners ist 1/4 Zoll engl. (6,3 mm), die Temperatur 15,6°, der Druck 30 Zoll engl. (762 mm); der Verbrauch beträgt in der Stunde 1/2 Cubikfuß (14158 ccm) des Gemenges. Die dadurch erzeugte Lichtintensität entspricht der in England durch Parlamentsacte festgestellten Wallrathkerze (S. 70).

Wartha [1]) macht den Vorschlag, Aetherdampf, der aus einem in kochendem Wasser stehenden schmiedeisernen Gefäße entwickelt wird, zu verbrennen. Bei 3 bis 4 mm Wasserdruck im Brennerrohr soll die Flamme eines Schnittbrenners ruhig brennen und schön leuchten; nähere Mittheilungen darüber fehlen noch.

Draper [2]) verwendet einen 10 cm langen und 250 mg schweren Platindraht, welcher zu einer Spirale von 5 Gängen und 4 mm Durchmesser zusammengewunden ist. Der Rest des Drahtes wird parallel zur Achse der Spirale umgebogen und endet mit einem Haken, an welchem das Ganze in der Flamme des aus einer 1 mm weiten Oeffnung tretenden Wasserstoffgases so aufgehängt wird, daß der Draht den Brenner nahezu berührt. Ob hierdurch wirklich ein gleichmäßiges Licht erhalten wird, ist zweifelhaft.

Zuverlässiger ist jedenfalls die Lichteinheit von Schwendler [3]), welcher den bereits im Jahre 1859 von Zöllner gemachten Vorschlag einen durch Elektricität glühend gemachten Platindraht zu verwenden benutzt. Zur Erzielung eines gleichmäßigen Glühlichtes schneidet Schwendler das Platinstück aus einem Platinblech, wie es Fig. 84 in natürlicher Größe zeigt. Die Lappen *a* bilden alsdann die Elektroden zwischen den Leitungsdrähten und dem U-förmigen Platinstück, welches als Lichtquelle dienen soll. Die Lichteinheit wird nun durch einen Strom von 6,15 Weber'schen Einheiten erzeugt, den man durch einen 2 mm breiten und 36,28 mm langen, 0,017 mm dicken und 26,4 mg schweren Platinstreifen leitet, dessen berechneter Widerstand 0,109 und dessen bei 19° gemessener Widerstand 0,143 Siemens'schen Einheiten gleich ist. Um

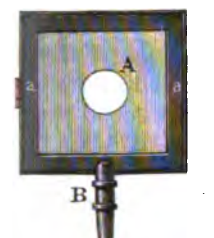
Fig. 84.



[1]) Berichte d. d. chem. G. 1874, 103. — [2]) Journ. f. Gasb. 1872, 410. — [3]) Journ. Asiatic Soc. of Bengal 1879, *83.

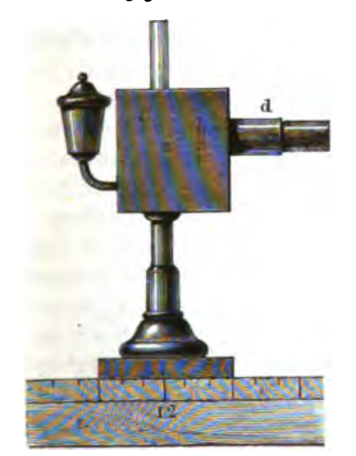
den Luftzug abzuhalten, wird die Vorrichtung mit einer hinten geschwärzten Glocke aus dünnem Glase bedeckt, die nur unbedeutende Lichtmengen zurückhält. Die Lappen *a* werden mit starken Kupferdrähten verbunden, in die Leitung aber ein Galvanometer und ein Quecksilberrheostat eingeschaltet, mittels dessen man leicht den Strom einige Zeit unveränderlich halten kann. Dieser Vorschlag verdient Beachtung.

Fig. 85.



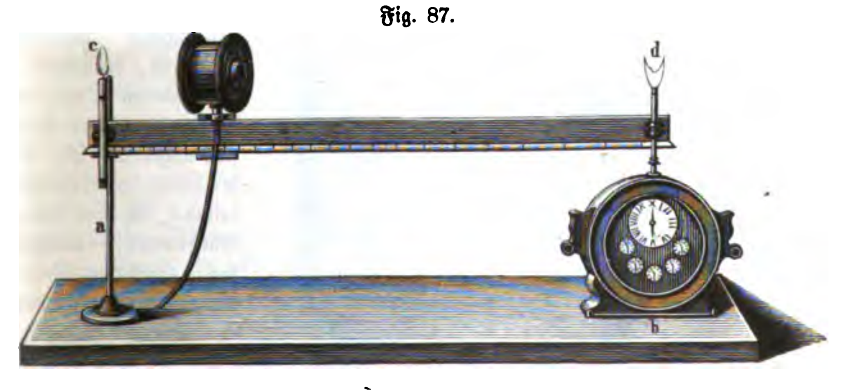
Lichtmessung. Weitaus am meisten wird zur Messung der verschiedenen Lichtquellen das Photometer von Bunsen angewendet. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem in einen Rahmen *a* (Fig. 85) gespannten Papierschirm *A*, in dessen Mitte sich ein mit Wachs oder Stearin durchscheinend gemachter Fleck oder Streifen befindet. Derselbe erscheint hell auf dunkelm Grunde, wenn der Schirm auf der Rückseite stärker erleuchtet ist als von der Vorderseite, im umgekehrten Fall aber dunkel auf hellem Grunde. Der Fleck kann aber nicht gleichzeitig auf beiden Seiten des Schirmes völlig verschwinden, wie Bohn[1]) gezeigt hat.

Fig. 86.



Figur 86 zeigt das Bunsen'sche Photometer in seiner ursprünglichen Gestalt. Als Lichteinheit diente eine in einem geschwärzten Blechkasten *c* befindliche Flamme einer Lampe. Die äußere Oeffnung des Auszugsrohres *d* ist durch einen Papierschirm verschlossen mit dem kleinen Stearinfleck in der Mitte. Um mit dieser

Fig. 87.



1) Dingl. 1859, 154, *15.

Vorrichtung die Stärke einer Lichtquelle, z. B. Gasflamme, zu bestimmen, ermittelt man zuerst den Abstand l, in welchem man die Flamme der Normalkerze und dann den Abstand L, in welchen man die Gasflamme bringen muß, damit der Fleck verschwindet. Die Lichtstärke J ist alsdann $J = i\,\frac{L^2}{l^2}$, wenn i die Lichtstärke der Normalkerze bezeichnet.

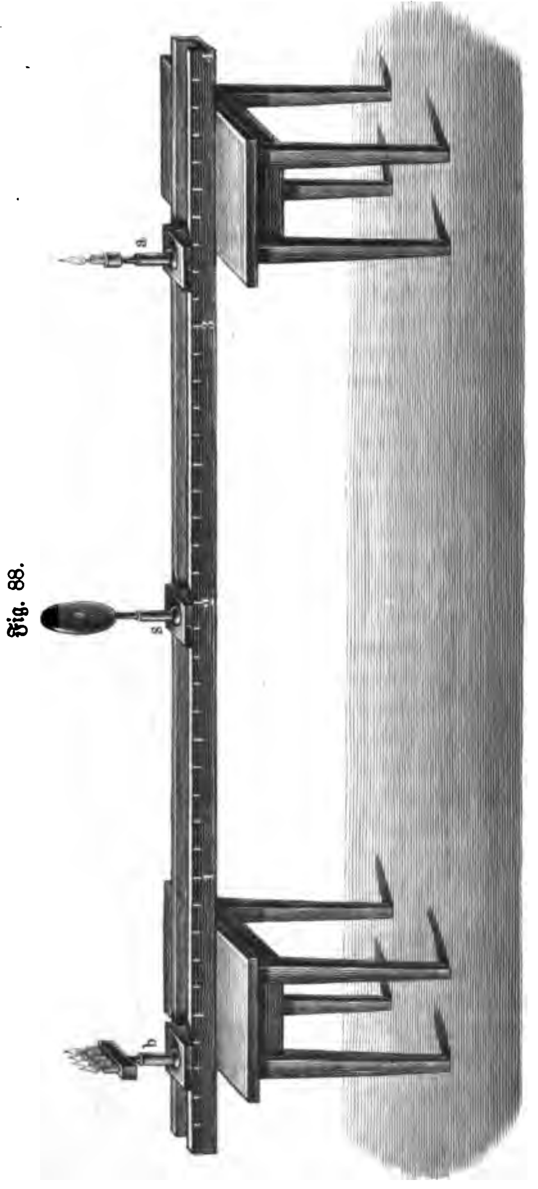


Fig. 88.

Desaga in Heidelberg führt diesen Lichtmesser in der Form aus, welche Fig. 87 (a. v. S.) versinnlicht.

An dem einen Ende einer horizontalen eingetheilten Schiene ist die Normalkerze c, an dem anderen Ende derselben ist die Flamme d angebracht, deren Leuchtkraft mit der der Normalkerze verglichen werden soll. Auf der eingetheilten Schiene ist ein cylindrisches Gehäuse verschiebbar, dessen kreisförmige Rückwand vollkommen undurchsichtig ist, während in der vorderen Wand das Papier mit dem Fettfleck angebracht ist. In der Mitte des Gehäuses befindet sich ein kleiner Gasbrenner, welchem das Leuchtgas durch einen dickwandigen Kautschukschlauch zugeführt wird.

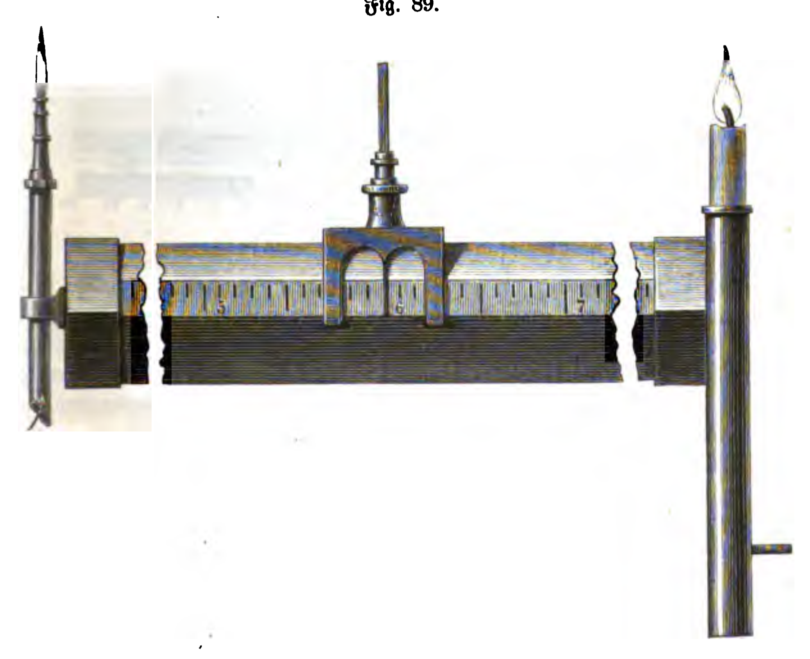
Nach der linken Seite hin kann dieses Gehäuse nur bis zu einer bestimmten Grenze geschoben werden, indem der Schieber, welcher das Gehäuse trägt, hier an

einer an der Schiene angebrachten Hervorragung anstößt. Dreht man das Gehäuse, wenn es sich an dieser Stelle befindet, aus der in der Figur dargestellten Lage um 180° herum, so daß das gefettete Papier der Normalkerze zugekehrt ist, so beträgt der Abstand der Kerze von dem Papierschirm 20 cm. Bei dieser Grenzstellung der Schiene nun wird der Zufluß des Gases zum Brenner im Inneren des Gehäuses so geregelt, daß der Fettfleck auf dem Papierblatt aufhört sichtbar zu sein.

Ist dies erreicht, so wird das Gehäuse wieder um 180° gedreht, so daß das Papier nun der Flamme *d* zugekehrt ist und dann der Schieber mit dem Gehäuse so weit nach rechts geschoben, bis der Fettfleck auf dem Papier abermals unsichtbar wird. Die Scala ist derart eingerichtet, daß man unmittelbar die Lichtstärken ablesen kann.

Da die in der Nähe befindlichen Flammen die Beobachtung erschweren, hat der Apparat folgende Verbesserung erhalten: In der oberen Hälfte der kreisförmigen verschlossenen Rückwand des cylindrischen Gehäuses ist eine etwa 3 cm

Fig. 89.



große runde Oeffnung und hinter dieser ein Spiegel im Winkel von 45° angebracht. Durch diese Vorrichtung kann die innere Seite des Papierschirms sehr bequem und ohne daß die Flammen belästigen, beobachtet werden.

Bei vergleichenden Versuchen darf entweder nur die innere oder nur die äußere Seite des Papieres beobachtet werden.

Wird der Papierschirm von beiden Seiten gleich stark beleuchtet, so wird der Fleck unmerkbar; wenn man daher ein solches Papierblatt zwischen zwei Licht-

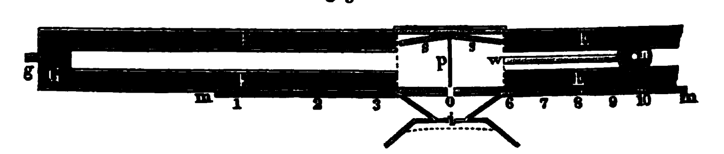
quellen so stellt, daß der Fleck fast ganz verschwindet, so entspricht diese Stelle dem Punkte gleicher Lichtstärke, deren Verhältniß durch die Abstände der Lichtquellen gegeben ist.

Eine diesbezügliche, sehr einfache Vorrichtung zeigt Fig. 88 (a. S. 76). Der als Lichteinheit dienenden Normalflamme *a* steht die zu messende Lichtquelle *b* gegenüber, der Schirm *s* wird so lange hin- und hergeschoben, bis der Fleck fast ganz verschwindet. Die Lichtstärken verhalten sich dann umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen vom Schirm; meist ist jedoch auch hier die Theilung der Schiene so gewählt, daß man die Lichtstärken unmittelbar ablesen kann.

Eine etwas bequemere Einrichtung dieses Apparates zeigt Fig. 89 (a. v. S.). Auf der viereckigen, etwa 3 m langen Holzstange ist ein Sattel mit der Papierscheibe verschiebbar, dessen Zunge sich über der Theilung der Stange bewegt. Die Blechhülse trägt die Normalkerze, welche in der Hülse durch den einen Schieber in der richtigen Höhe festgestellt wird, während die Hülse links den zu untersuchenden Lichtquell trägt.

Verfasser besitzt einen von Apel bezogenen Apparat, der wie die Draufsicht Fig. 90 (1/5) zeigt aus zwei, auf Füßen ruhenden Eisenschienen *E* besteht, auf welchen der in einen schwarzen an beiden Seiten offenen Blechkasten befestigte

Fig. 90.



Papierschirm *p* gleichzeitig mit der 25 cm entfernten Normalkerze, welche in der durch den Stab *w* mit dem Blechkasten verbundenen Hülse *n* steckt, verschiebbar ist. Wie der Durchschnitt des Blechkastens zeigt, ist zu beiden Seiten des Papierschirmes ein Spiegel *s* aufgestellt, so daß man durch die beiden runden Oeffnungen *i* und *o* in den Spiegeln gleichzeitig beide Seiten des Schirmes beobachten kann. Ein unter dem Blechkasten angebrachter Zeiger giebt auf der Holzschiene *m* direct die Lichtstärken der auf der Platte *G* aufgestellten Flamme an. Für die Untersuchung von Leuchtgas ist ein Zuführungsrohr *g* mit Regulirhahn angebracht. Selbstverständlich hat man bei allen Leuchtgasuntersuchungen mittels entsprechender Regulatoren, welche später ausführlich besprochen werden, für constanten Druck zu sorgen, auch zu berücksichtigen, daß die Leuchtkraft des Gases wesentlich mit von der Beschaffenheit der Brenner (s. diese) abhängt. Arbeitet man unter Abschluß des Tageslichtes in einem mattgrau angestrichenen Zimmer, so sind weitere Schutzvorrichtungen überflüssig. Sind Wände und Decken weiß, so werden hinter beiden Flammen dunkle Schirme aufgestellt; wollte man aber bei Tageslicht arbeiten, so müßte der Apparat mit einem Kasten umgeben werden. Minder handlich scheint mir die Form dieses Apparates zu sein, welche von Schickert ausgeführt wird, und welche Bothe[1]) als Tangentenphotometer beschreibt.

---

[1]) Dingl. 1867, 186, 451; vergl. Journ. f. Gasb. 1869, S. 283.

Foucault beleuchtet die zwei Hälften eines durchscheinenden Schirmes, bestehend aus einer matten Glastafel oder einer Schicht Stärkemehl zwischen zwei Glasplatten, einseitig durch die beiden zu vergleichenden Flammen. Sind beide

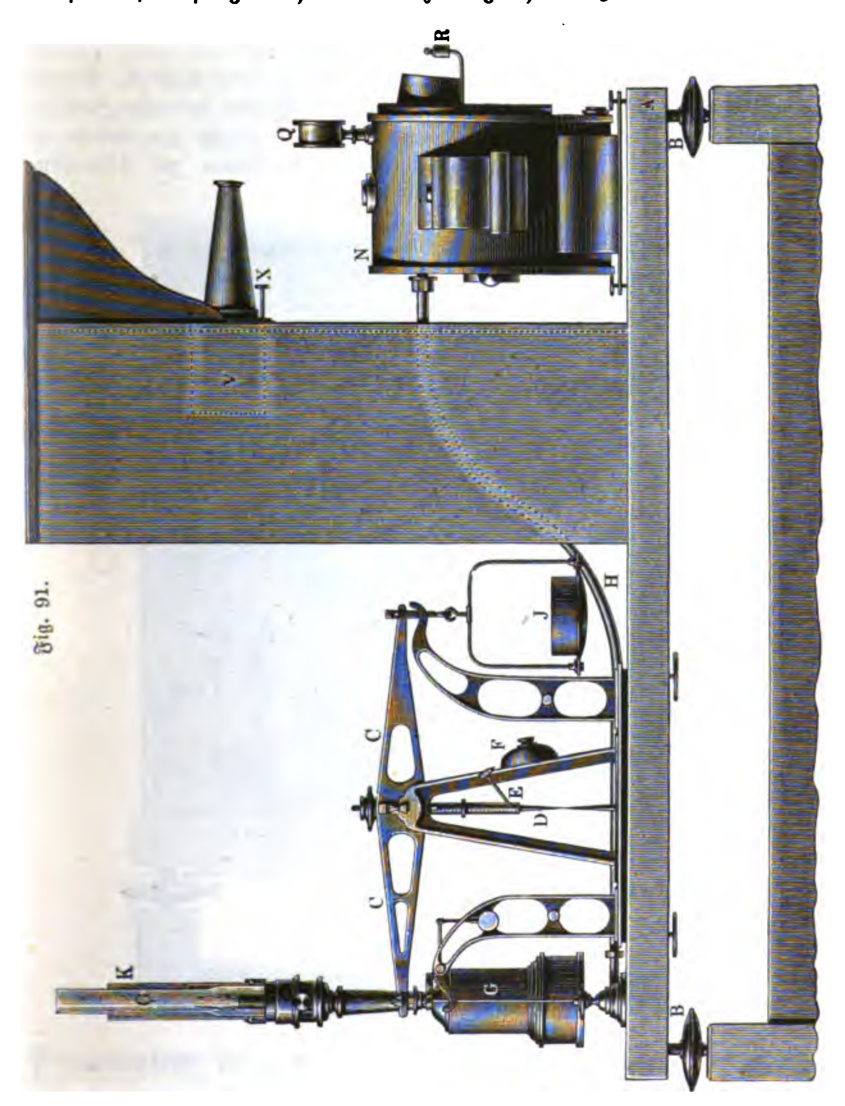


Fig. 91.

Hälften gleichbeleuchtet so ergiebt sich die Leuchtkraft wie bei **Ritchie** (S. 69) aus dem Quadrat der Entfernung. Der Apparat ist von **Elster**[1]) angewendet, er

[1]) Dingl. 1870, 198, *490.

wird aber namentlich in Frankreich in der von Dumas und Regnault [1]) vorgeschlagenen Form gebraucht. Die Figuren 91, 92 und 93 zeigen die ganze Einrichtung in drei Ansichten, die Figuren 94 und 95 (S. 82) zwei vergrößerte Durchschnitte des Foucault'schen Photometers mit matten Glasscheiben und einem Fernrohr *T*. Die gegenseitige Lage der mattgeschliffenen und über einander beweglichen Glastafeln *U* kann mittels Mikrometerschrauben verändert werden. Sie sind in dem Rohre *V* eingeschlossen, welches durch die undurchsichtige senkrechte Zwischenwand *W* (Fig. 92) in zwei Fächer getheilt wird. Durch die mittels der Mikrometerschraube *y* verschiebbaren Metallplatten **X** können die beleuchteten

Fig. 92.



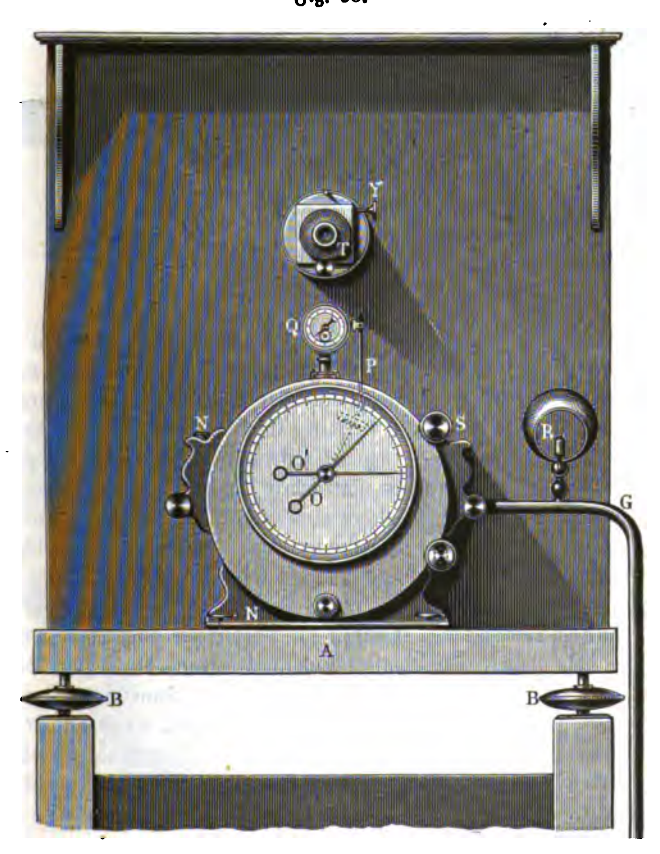
Glasscheiben geblendet werden, während die Stellung der Zwischenwand *W* durch die Schraube *x* geregelt werden kann.

Dem photometrischen Apparate sind in dem verfinsterten Versuchsraume auf derselben Grundplatte *A* (Fig. 91) die beiden Flammen in gleicher Höhe gegenüber gestellt. Die an dem einen Ende des Balkens *C* der Deleuil'schen Wage hängende

[1]) Dingl. 1866, 180, *122; Bull. de la soc. d'Enc. 1878, *211.

Carcel'sche Lampe *G* (S. 73) erhält das nöthige Oel mittels der Ansätze *H* und *I*, und wird durch das Gegengewicht *J* auf der anderen Schale in Gleichgewicht gebracht, während ein mit der Zunge *D* in eigenthümlicher Weise verbundener Hammer *E* durch Schläge auf die Glocke *F* die Gewichtsänderungen angiebt. Der mit Hahn und Druckmesser *L* versehene Gasbrenner *K* (Fig. 92) ist durch das Rohr *M* mit der Uhr *N* verbunden, welche durch das Rohr *G* (Fig. 93) mit Leuchtgas gespeist wird. Die Gasuhr ist mit zwei Zeigern versehen, und zwar beginnt der Zeiger *O* seine Bewegung von dem Augenblicke an, wenn die Gasdurchströmung

Fig. 93.

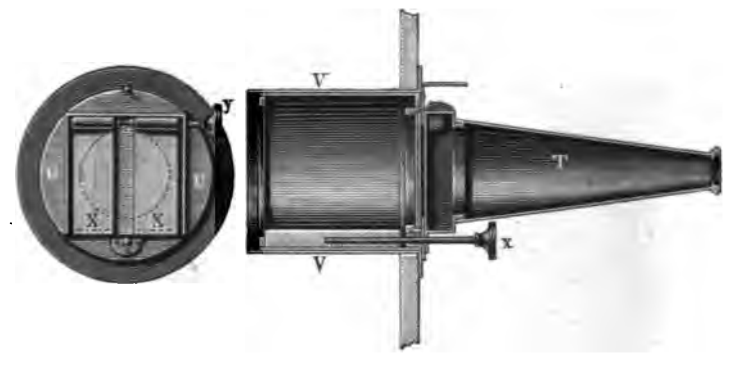


eintritt, und bewegt sich so lange als letztere dauert, der Zeiger *O'* aber kann in jedem beliebigen Augenblicke, nämlich beim Beginne einer Beobachtung und am Ende derselben, mittels des kleinen Hebels *P* ausgelöst und arretirt werden; gleichzeitig kommt dann der die Dauer des Versuchs in Minuten und Secunden angebende chronometrische Apparat *Q* in Gang und wird beim Anhalten des Zeigers *O'* ebenfalls wieder stillgestellt. Jeder Theilstrich des Zifferblattes der zeitweilig mit einem Gasometer verglichenen Uhr entspricht einem Zehntelliter.

Zur Beleuchtung der Zifferblätter beim Ablesen der Beobachtungszeit und des verbrauchten Gases dient der kleine Gasbrenner *R*, welcher während der Dauer des Versuchs mit einem Metallschirm bedeckt wird.

Um nun einen photometrischen Versuch auszuführen, zündet man beide Flammen an und unterhält dieselben während der Dauer von einer halben Stunde, indem man während dieser Zeit den Gasdruck regelt und den photometrischen

Fig. 94. Fig. 95.



Apparat einstellt bis die Helligkeit beider Flammen gleich geworden ist; dann wird die Carcel'sche Lampe nochmals genau tarirt. Nun wird mittels des Hebels *P* der Zeiger *O'* der Gasuhr und der chronometrische Apparat *Q* ausgelöst und werden beide Apparate so lange im Gange erhalten bis die Normalflamme 10 g Oel verzehrt hat — letzteres soll, wenn die Verbrennung gleichmäßig ist, in 14 Minuten 37 Secunden stattfinden —, worauf Secundenzeiger und Zeiger *O'* mittels des Hebels *P* wieder arretirt werden. Den angestellten Versuchen zufolge müssen für eine Gasflamme von contractmäßiger Lichtstärke in Paris bei normalem Gasdrucke 27,5 Liter Leuchtgas während derselben Zeit verbraucht sein.

Sillimann und Porter[1]) haben ein Photometer angegeben, welches dem von Ritchie nahe steht. Die Lichtstrahlenbündel werden durch zwei Blendungen *a a'* (Fig. 96) von genau gleicher Oeffnung in das Innere des Instrumentes geleitet, woselbst sie auf zwei Flintglasprismen *b* gelangen, die so gestellt sind, daß das ohne Brechung an der vorderen senkrechten Fläche eintretende Strahlenbündel an der hinteren eine totale Reflexion erleidet und aus der oberen horizontalen Fläche austritt. Die zwei hell erleuchteten Scheibchen werden nun auf einer Blendung von matt geschliffenem Glase aufgefangen, welche in einer verfinsterten Kammer *c* ruht, 30 mm im Durchmesser. Fig. 97 stellt die Glasplatte in Ansicht dar, mit den beiden Lichtscheibchen *d* und *d'* in ihrer Lage gegen einander.

Ueber dieser finsteren Kammer *c* befindet sich eine senkrechte Röhre mit einem Oculare *o*; innerhalb derselben sind Diaphragmen von verschiedener Oeffnung und von verschiedenfarbigem Glase. Das ganze Instrument ist mit einem Fuße ver-

1) Dingl. 1858, 147, *302.

sehen, der eine höhere oder niedrigere Stellung mittels der Schraube *s* gestattet. Um endlich die Prismen unter den Winkel der vollkommenen Zurückwerfung stellen zu können, sind äußerlich Knöpfe *e* angebracht, mittels welcher eine sanfte Drehung möglich wird.

Man bringt nun die Ränder der beiden hellen Scheibchen nahe an einander, aber so, daß sie nicht über einander fallen. Das Instrument steht auf einem



Fig. 96.



Fig. 97.

Schlitten, welcher längs eines mit einer Eintheilung versehenen Stabes verschoben werden kann, während die beiden zu vergleichenden Lichtquellen an den Enden des eingetheilten Stabes in gleicher Höhe befestigt sind. Das Instrument wird nun so lange verschoben, bis die Helligkeit der beiden Scheibchen eine gleiche ist. Es hat sich herausgestellt, daß ein gelblich grünes Ocular die vollkommenste Compensation für Farbenabweichungen gewährt, welche verschiedene Lichter bedingen.

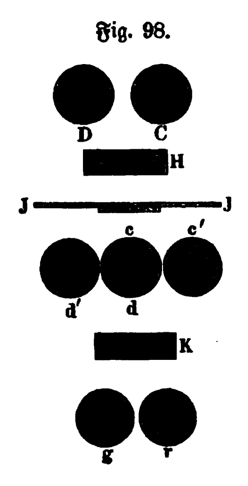
Beer [1]) verwandte zu Lichtmessungen einen eigenthümlichen Polarisationsapparat, der dann von Roudolf [2]) etwas abgeändert wurde. Babinet [3]) gab einen ähnlichen Apparat an, der dann von Crookes [4]) in nachfolgender Weise vervollkommnet wurde. Zur Erläuterung des Principes dieses Apparates zeigt Fig. 98 (a. f. S.) eine schematische Darstellung der einzelnen Theile dieses Lichtmessers.

Es sei *D* eine Lichtquelle, etwa eine durch künstliches oder natürliches Licht beleuchtete Scheibe von weißem Porcellan oder von Papier, *C* eine ebensolche in gleicher Weise beleuchtete Scheibe, deren photometrische Größen mit einander verglichen werden sollen. *H* ist ein achromatisches, aus Doppelspath angefertigtes,

[1]) Poggend. 86, *78. — [2]) Dingl. 1852, 125, *329. — [3]) Dingl. 1854, 131, 132. — [4]) Dingl. 1869, 192, *395.

doppelt brechendes Prisma, welches die Scheibe D in zwei in entgegengesetztem Sinne polarisirte Scheiben d und d' zerlegt, und zwar so, daß die Ebene von d vertical und die von d' horizontal polarisirt ist. Ebenso giebt das Prisma H zwei Bilder der Scheibe C, das horizontal polarisirte Bild c und das vertical polarisirte c'. Die Größenverhältnisse der Scheiben D und C, und das Zerlegungsvermögen des Doppelspathprismas H müssen so gewählt werden, daß das vertical polarisirte Bild d und das horizontal polarisirte c einander genau decken und, wie die Figur zeigt, eine zusammengesetzte Scheibe $c\,d$ bilden, welche eine Hälfte des Lichtes von D und eine Hälfte des von C ausgehenden Lichtes enthält.

Fig. 98.



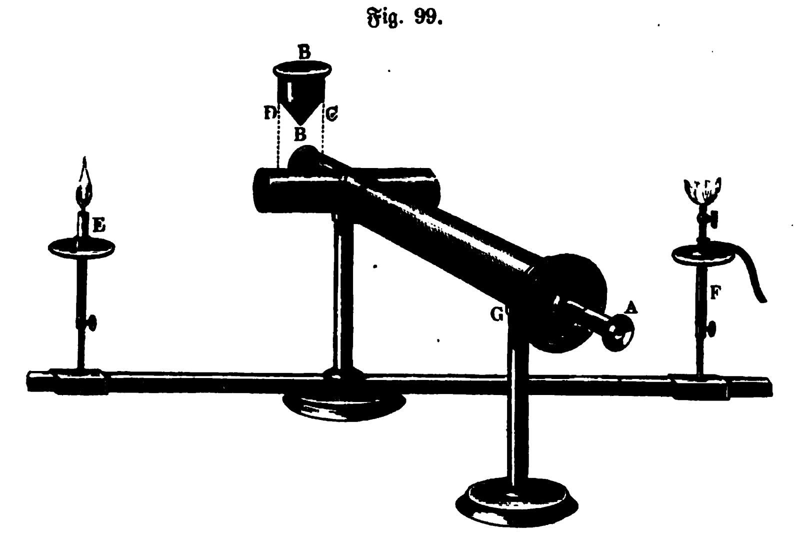
Durch Messung der Stärke des polarisirten Lichtes auf der Scheibe $c\,d$ ergeben sich die relativen photometrischen Intensitäten von D und C.

Die Blendung J mit einer kreisförmigen Oeffnung in der Mitte ist gerade groß genug um $c\,d$ sehen zu können, welche aber die seitlichen Scheiben c', d' dem Auge verbirgt. Vor dieser Oeffnung ist ein Gypsblättchen angebracht von solcher Dicke, daß es unter dem Einfluß polarisirten Lichtes ein rothes Bild und als Complementärfarbe Grün giebt. Ein dem Prisma H ganz gleiches doppelt brechendes Kalkspathprisma K ist in solcher Entfernung von der Blendenöffnung angebracht, daß die beiden Scheiben, in welche J dem Anscheine nach aufgelöst ist, von einander getrennt erscheinen, wie bei g und r. Wenn die Scheibe $c\,d$ kein polarisirtes Licht enthält, so sind die Bilder g, r weiß, weil sie durch zwei Strahlen weißen Lichtes gebildet werden, welche in entgegengesetztem Sinne polarisirt sind; sobald aber eine Spur von polarisirtem Lichte in c und d ist, sind die beiden Scheiben g, r in Complementärfarben gefärbt, und der Contrast zwischen dem Grün und dem Roth ist um so stärker, je mehr polarisirtes Licht $c\,d$ enthält.

Die Wirkung dieser Anordnung ergiebt sich durch folgende Betrachtung. Nehmen wir zunächst an, die beiden Lichtquellen C und D seien einander genau gleich. Sie werden durch das Prisma H jede in zwei Scheiben d, d' und c, c' zerlegt, und da die zwei polarisirten Strahlen, aus denen $c\,d$ zusammengesetzt ist, einander auch an Stärke gleich sind, so neutralisiren sie sich gegenseitig und bilden gewöhnliches Licht, ohne Spur von Polarisation. In diesem Falle sind die beiden Lichtscheiben g, r ungefärbt. Nehmen wir nun an, die eine Lichtquelle, z. B. D, sei stärker als die andere C, dann werden die beiden Bilder d, d' lichtstärker sein als die beiden Bilder c, c' und der vertical polarisirte Strahl d wird stärker sein als der horizontal polarisirte Strahl c. Die zusammengesetzte Scheibe $c\,d$ wird dann theilweise in polarisirtem Lichte erscheinen und die Menge des freien polarisirten Lichtes wird der Lichtmenge, um welche die Intensität von D größer ist als die von C, genau proportional sein. In diesem Falle wird das Bild des vor der Oeffnung der Blende J angebrachten Gypsspathblättchens durch das Prisma K in eine rothe und in eine grüne Scheibe zerlegt.

Die vollständige Zusammenstellung des Instrumentes zeigt Fig. 99. *A* ist das in Fig. 100 in vergrößertem Durchschnitte dargestellte Ocular, *GB* ein im Innern geschwärztes Messingrohr, welches an seinem dem Ocular entgegengesetzten

Fig. 99.

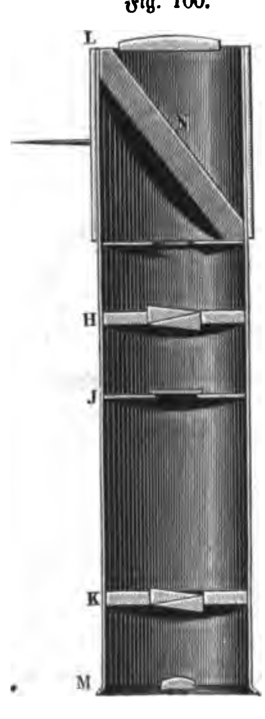


Ende *B* mit einem einzuschiebenden Einsatzstücke (bei *D*, *C* gesondert ersichtlich) versehen ist. Die schrägen Seiten *DB* und *BC* dieses Stückes sind mit einer weißen Fläche (Papier oder polirtes Porcellan) bedeckt, so daß, wenn *DC* in das Rohrende *B* eingesteckt ist, die eine dieser beiden weißen Flächen *BD* durch die Kerze *E* und die andere *BC* durch die Lampe beleuchtet werden kann. Wenn nun der Beobachter das Ocular abnimmt, so sieht er am Rohrende *B* eine weiße, leuchtende, senkrecht in zwei Theile getheilte Scheibe, deren eine Hälfte von der Kerze *E* und die andere durch die Lampe *F* beleuchtet ist. Verschiebt man nun z. B. die Kerze *E* auf dem Maßstabe, so kann man die Helligkeit der Hälfte *DB* beliebig abändern, während die der anderen Hälfte *BC* unverändert bleibt.

Die Einrichtung des in Fig. 100 (a. f. S.) abgebildeten Oculars *A* erklärt sich mit Hülfe der Fig. 98. Bei *L* ist eine Linse, um die von *BCD* (Fig. 99) kommenden Lichtstrahlen zu sammeln und das Bild an die gehörige Stellung des Rohres *BG* zu werfen. Bei *M* ist eine zweite Linse so angebracht, daß sie ein scharfes Bild von den beiden Scheiben giebt, in welche *J* durch das Prisma *K* zerlegt wird. Das Arago'sche Polarimeter *N* besteht aus einer Schicht von dünnen Glasplatten, welche sich um die Achse des mit einem Zeiger und einem getheilten Kreise versehenen Rohres (*A G*, Fig. 99) drehen läßt. Mittels dieser Glasplattensäule kann man die von den beleuchteten Scheiben kommenden Strahlen im einen oder im anderen Sinne polarisiren und auf diese Weise das theilweise polarisirte Strahlenbündel *cd* (Fig. 98) in den neutralen Zustand überführen, so daß die Bilder *gr* ungefärbt erscheinen. Dies Polarimeter wird so eingesetzt, daß es, wenn der Zeiger auf 0 steht, auf beide Scheiben eine gleiche Wirkung ausübt.

Der Apparat wird in folgender Weise angewendet. Nachdem die Normalkerze *E* auf einem der auf dem getheilten Stabe verschiebbaren Träger aufgestellt ist, bringt man sie auf die richtige Höhe und verschiebt sie auf eine geeignete Entfernung, welche von der Stärke des zu messenden Lichtes *F* abhängt, das auf dieselbe Weise auf der anderen Seite des Photometers befestigt wird. Der ganze Apparat muß sich in einem dunklen Raume befinden oder mit Schirmen umgeben werden, welche kein Licht reflectiren; ebenso muß das Auge vor den von den beiden Flammen kommenden directen Strahlen geschützt sein. Blickt man nun in das Ocular, so sieht man zwei glänzende Scheiben, wahrscheinlich von verschiedenen Farben. Man verschiebt nun die Flamme *F* auf dem getheilten Stabe, bis die beiden leuchtenden Scheiben, durch das Ocular beobachtet, beinahe dieselbe Färbung zeigen. Eine gleiche Helligkeit läßt sich leicht erhalten; denn da das Auge zwei leuchtende neben einander liegende Scheiben beobachtet, welche rasch von Rothgrün in Grünroth von einem neutralen nicht gefärbten Punkte aus übergehen, so ist es nicht schwierig, diesen Punkt mit großer Genauigkeit zu erfassen. Anstatt, daß man in dieser Weise eine solche völlige Gleichheit zu erreichen sucht, ist es jedoch bequemer und besser, die Flamme auf den Theilstrich des Stabes zu verschieben, auf welchem man dieser Gleichheit von der einen oder anderen Seite am nächsten kommt; man erhält dann die endliche Einstellung mittels des Oculars, indem man das Polarimeter im einen oder anderen Sinne über 45° dreht, bis die Bilder ohne eine Spur von Färbung erscheinen. Durch eine Reihe von Versuchen ist man im Stande den Werth jedes Winkels, welchen man die Glasplattensäule durchlaufen läßt, ein- für allemal zu bestimmen; die dann noch anzustellenden Berechnungen bieten keine Schwierigkeit dar; indem man die Entfernung, um welche die Lichtquellen von dem Mittelpunkte des Apparates entfernt sind, zum Quadrat erhebt, erhält man das annähernde Verhältniß ihrer Lichtstärken, und die Anzahl der Grade, um welche das Ocular gedreht worden, giebt die Zahl, welche hinzuaddirt oder subtrahirt werden muß, um die erforderliche Genauigkeit zu erhalten.

Fig. 100.



Mit Hülfe eines Photometers dieser Art ist es möglich, Flammen von verschiedenen Farben mit einander zu vergleichen, eine Aufgabe, welche durch Anwendung der früher besprochenen Lichtmesser kaum gelöst werden könnte. Nehmen wir mit Bezugnahme auf Fig. 98 z. B. an, die Scheibe *D* sei durch ein Licht von röthlicher Farbe und die Scheibe *C* durch ein grünliches Licht beleuchtet, so werden die polarisirten Scheiben $d'd$ röthlich gefärbt erscheinen, die Scheiben cc' grünlich, und die centrale Scheibe cd wird eine aus der Vereinigung beider Bilder entstandene Färbung zeigen. Mittels des Analiseur *K* und der Gyps-

scheibe *J* ist man aber im Stande, freies polarisirtes Licht auf der Scheibe *cd*, wenn dasselbe farbig ist, mit derselben Leichtigkeit zu erkennen, als wenn es weiß wäre; der einzige Unterschied wird der sein, daß man die beiden leuchtenden Scheiben *gr* nicht auf eine gleichmäßig weiße Farbe bringen kann, wenn das von *D* und von *C* ausgegangene Licht gleiche Stärke haben, jene Scheiben werden aber eine der Scheibe *cd* ähnliche Färbung annehmen.

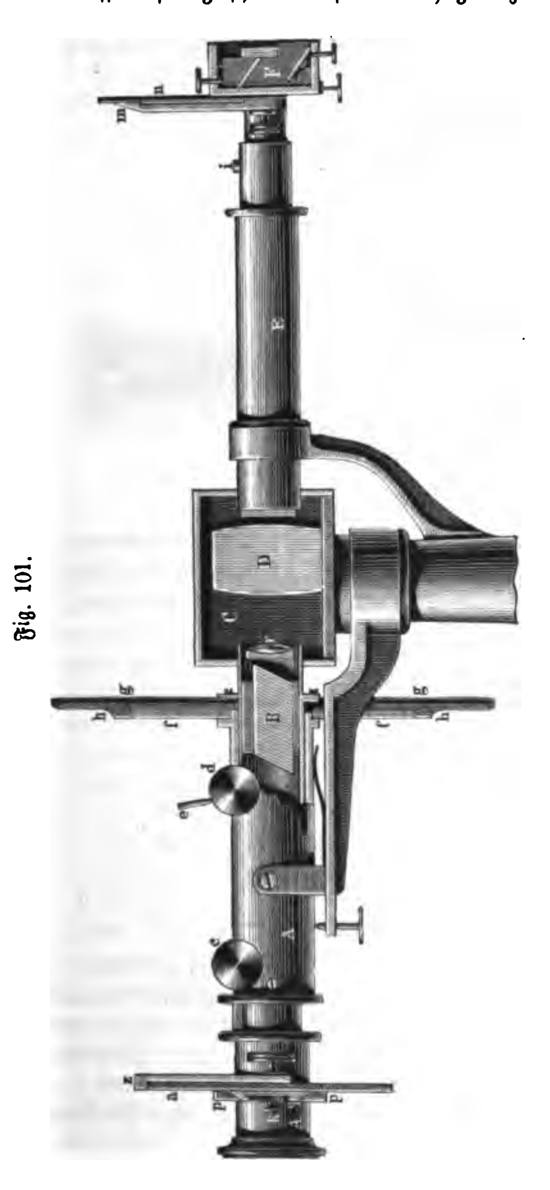


Fig. 101.

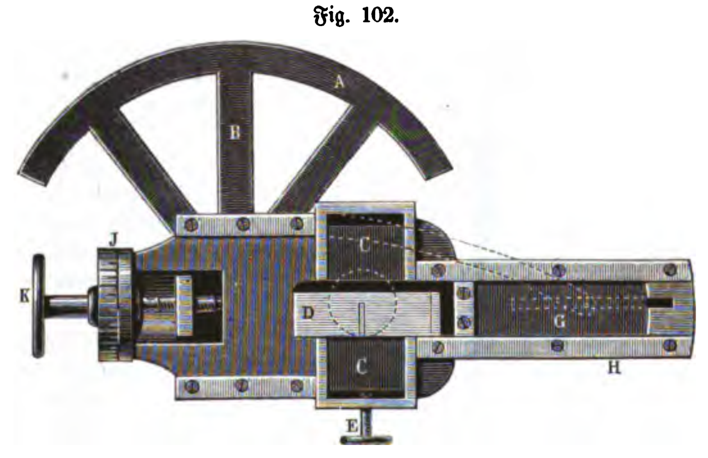
Hodkinson [1]) hat einen auf ähnlichem Princip beruhenden Apparat zur Messung der Lichtwirkungen der Leuchtthürme angegeben, auf welchen hier nur verwiesen werden mag, wie auch auf den Vorschlag von Dove [2]) zwei Lichtquellen mittels des Mikroskopes und eines Nicol'schen Prismas zu vergleichen.

Während die Grundidee zu spectralphotometrischen Bestimmungen schon von Lambert in seiner Photometrie (1760) ausgesprochen wurde, ist das Verfahren, mittels des Spectroskopes photometrische Bestimmungen auszuführen, doch erst in den letzten Jahren so vervollkommnet, daß es selbst wissenschaftlich genaue Resultate giebt [3]). Besonders bemerkenswerth ist jedoch

[1]) Dingl. 1872, **205**, *524. — [2]) Dingl. 1861, **162**, 154. — [3]) Vergl. Compt. rend. **86**, 878; **87**, 322; Journ. de phys. **8**, 85; Dingl. 1877, **226**, 326.

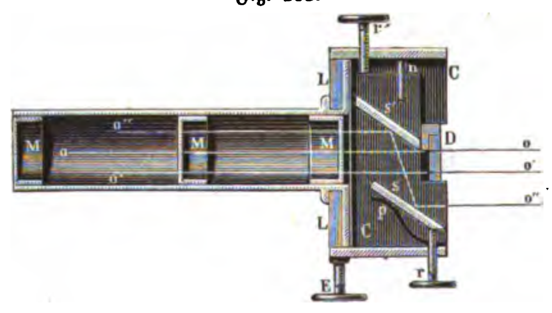
das neueste Spectrophotometer von Hüfner [1]). Figur 101 (a. v. S.) zeigt den Apparat in 1/4 seiner natürlichen Größe, nur ist das Scalenrohr weggelassen, die Figuren 102 und 103 zeigen ausführlichere Darstellungen einzelner Theile. Der vordere, die Ocularlinsen enthaltende Theil *A'* des Fernrohrs *A* in Fig. 101

Fig. 102.



trägt zunächst an der Stelle des Fadenkreuzes eine Abblendungsvorrichtung. Dieselbe besteht, wie beim Vierordt'schen Apparate, aus zwei in einer Führung *q* beweglichen Schiebern *s*, deren jeder zur seitlichen Feststellung auf seiner Unter-

Fig. 103.



lage mit einer Knopfschraube *k* versehen ist. Die Führung *q* ist aber selber beweglich; sie läßt sich sammt den befestigten Schiebern mittelst eines Excenters in der weiteren unbeweglichen Führung *p* horizontal hin und her bewegen und die seitlich angebrachte Alhidade *a*, sowie der Zeiger *z* dienen dazu, den jeweiligen Stand des durch die Schieber gebildeten Spalts auf einer Gradtheilung zu markiren. Ein Zahnrad bei *c* endlich gestattet eine bequeme und sichere Verschiebung des Ocularrohrs *A'* im weiteren Röhrentheile *A*.

Zunächst dem Prisma *D* ist in *A* abermals ein längeres Röhrenstück eingefügt, das sich aber nicht in der Richtung der Längsachse verschieben, sondern nur

---

[1]) Journ. prakt. Chem. 16, *290.

um dieselbe drehen läßt. Es enthält den Nicol B und die Objectivlinse r. Die Drehung geschieht durch die Handgriffe $g\,g$, welche bei h mit je einem Nonius versehen sind. Die feste Scheibe f trägt die Gradtheilung für die Messung des Drehungswinkels. Dieselbe besitzt rechts und links je einen Nullpunkt und gestattet mit Hülfe des Nonius eine Ablesung von 0,1 Grad. Der Nicol selbst ist so gestellt und befestigt, daß das Gesichtsfeld die größte Helligkeit zeigt, wenn beiderlei Nullpunkte, diejenigen der Nonien und des Theilkreises, zusammenfallen.

Da mittelst der Handgriffe g nur die gröbere Einstellung möglich ist, so findet sich zum Zwecke der feineren Einstellung bei d eine Schraube ohne Ende, welche in einen gezahnten Kranz des inneren Rohres eingreift und für gewöhnlich durch eine Feder auf diesen gepreßt wird. Soll der Nicol erst mittelst der Handgriffe g gedreht werden, so hat man die Schraube vorher aus dem Zahnkranze herauszuheben, was mittels des kurzen Hebels e geschieht. Das Collimatorrohr E trägt nur vor dem Spalte eine besondere Vorrichtung. Es ist das Kästchen F mit zwei unter dem Polarisationswinkel für Glas zur Achse des Rohres gestellten Spiegeln und einem Compensationskeile aus Rauchglas, der sich, von einer Feder festgehalten, mittels eines einfachen Triebwerks vor dem Spalte hin- und herschieben läßt. Auch hier dienen eine mit Theilung versehene Alhidade n und ein Zeiger m dazu, um den jeweiligen Stand des Keils zu markiren. Fig. 103 giebt eine vergrößerte Darstellung des Kästchens, hier mit C bezeichnet. s und s' sind die beiden Spiegel, und zwar ist s ein durch die Feder p und die Schraube r in bestimmter Lage erhaltener, um eine Horizontalachse drehbarer Stahlspiegel, s' dagegen ein auf ein solides, gleichfalls um eine Horizontalachse drehbares Messingstück aufgekitteter Spiegel aus dunklem Glase. Die gewundene Feder n und die Schraube r' dienen zur Einstellung in die bestimmte Lage. L bedeutet die den lichtgebenden Spalt enthaltende Platte, an welche das ganze Kästchen durch die Schraube E befestigt werden kann, und D ist der verschiebbare Glaskeil.

Bedeuten in der nämlichen Figur o, o', o'' ein Bündel paralleler Strahlen, die von rechts her auf das Kästchen auffallen, so werden o und o', so lange der Keil D noch nicht den Spalt bedeckt (Fig. 102 giebt die Frontansicht der Vorrichtung; man sieht hier durch den schraffirten Keil hindurch die untere Spalthälfte und kann sich nun leicht den Keil so weit nach rechts verschoben denken, daß der Spalt selbst frei wird), ungehindert ihren Weg zwischen den Spiegeln hindurch zum Spalte fortsetzen; o'' dagegen wird vom Stahlspiegel nach oben, auf s', geworfen und gelangt von diesem vollständig polarisirt, aber auch bedeutend lichtschwächer, zum Spalte. Sieht man also von links her durch das Rohr und die Blendungen M hindurch nach dem lichtgebenden Spalte, so erscheint derselbe in zwei unmittelbar an einander grenzende Hälften getheilt, deren eine, die untere, heller ist und gewöhnliches Licht enthält, während die dunklere obere polarisirtes; und werden endlich beide Lichtbündel durch das Prisma in Farben zerlegt, so erhält man zwei scharf an einander grenzende, aber ungleich helle Spectren.

Der Compensationskeil D stellt eine etwa 2 mm dicke, 15 mm breite und 40 mm lange, durchaus ebene und gleichmäßig dicke Glasplatte vor, die aus zwei sorgfältig geschliffenen Glaskeilen, einem aus Rauchglas und einem aus Flintglas, zusammengekittet ist. Da das Rauchglas niemals ganz farblos ist, also die Spectralfarben

niemals gleichmäßig absorbirt, so hat man den Keil in den verschiedenen Spectralregionen ungleich weit vor den Spalt zu schieben, um je zwei Streifenhälften gleich hell zu machen. Dabei ist aber wohl zu bemerken, daß man die respectiven Lichtschwächungsvermögen des Keils selber durchaus nicht zu kennen braucht, insofern ja die Keildicke gar nicht als Maß bei der eigentlichen Photometrie benutzt wird. Fig. 102 dürfte den Mechanismus, durch welchen die Verschiebung geschieht, auch ohne besondere Erläuterung genugsam erkennen lassen. In der gleichen Figur sieht man auch noch eine Trommel J, welche dazu dient, die jeweilige Breite des Spalts in Millimetern ablesen zu lassen.

Ist durch irgend ein lichtabsorbirendes Mittel das eine Spectrum an bestimmter Stelle wesentlich verdunkelt, und will man deren Helligkeit mit der Helligkeit des homologen Bezirks im anderen Spectrum vergleichen, so hat man nur den Nicol so lange zu drehen, bis beide Felder gleich hell erscheinen. Aus der Größe des Drehungswinkels kann man das Intensitätsverhältniß beider Felder leicht ableiten.

Da man es nämlich bei der Anwendung von Nicol'schen Prismen immer nur mit einem der beiden polarisirten Strahlen, dem außerordentlichen, zu thun hat, so braucht, wie Zöllner gezeigt hat, nur das sogenannte Cosinusquadratgesetz als gültig vorausgesetzt zu werden, welches aussagt, daß sich jeder der Werthe E^2 und O^2 (E bedeutet die Amplitude des außerordentlichen, O diejenige des ordentlichen Strahls) proportional den Sinus-, resp. Cosinusquadraten des Winkels φ ändert, um welchen der Nicol gedreht wird. Bezeichnet man daher die Intensität des polarisirten Lichtstrahls vor der Drehung des Nicols mit J, seine Intensität nach der Drehung des Nicols mit J', so ist $J - J'$, d. h. die Intensität, welche der Strahl beim Durchgange durch den gedrehten Nicol verloren hat, $= \sin^2\varphi$, und daher $J' = \cos^2\varphi$.

Ist die Verdunkelung hervorgerufen durch eine lichtabsorbirende, 1 cm dicke Flüssigkeitsschicht, und will man deren Extinctionscoëfficienten erfahren, so hat man nur den Logarithmus von J', d. h. also von der übrig gebliebenen Intensität, negativ zu nehmen. Muß z. B. in einem Falle der Nicol, bis beide Felder gleich hell erscheinen, um 52° gedreht werden, so ist der gesuchte Extinctionscoëfficient: $\varepsilon = -\log J' = -2 \log \cos 52^0 = -(0{,}57868 - 1) = -0{,}42132$.

Beim Gebrauche des Apparates sind indeß noch einige besondere Regeln zu beachten. Dieselben betreffen 1) die Art der Lichtquelle, 2) den Gang der Strahlen im Apparate, wie er durch das Spiegelkästchen bedingt wird, und endlich 3) die Qualität des Nicols und die genaue Feststellung des jeweiligen Drehungswinkels φ. Da die Spiegel unter dem Polarisationswinkel des Lichtes für Glas zur Axe des Collimatorrohrs gestellt sind, so ist vor allen Dingen gefordert, daß nun das Licht auch gerade unter diesem Winkel auf dieselben auffalle und nicht unter anderen. Wird aber eine leuchtende Flamme in die Nähe des unteren Spiegels gebracht, so werden begreiflicherweise, da von jedem leuchtenden Punkte der Flamme Strahlen nach allen Richtungen ausgehen, auch auf den Spiegel solche unter den verschiedensten Winkeln auffallen und von dort reflectirt werden; aber nur verhältnißmäßig wenige werden wirklich polarisirt werden und den Gang nehmen, welcher gewünscht wird. Man schaltet deswegen am besten zwischen Spiegel und Flamme

eine Linse ein, welche die von jedem einzelnen Punkte der Flamme ausgehenden Strahlen parallel macht; und zwar wird zu dem Ende die runde Petroleumflamme mit einem geschwärzten Thonmantel umgeben, der in gleicher Höhe mit dem hellsten Theile der Flamme eine Oeffnung besitzt und ein Seitenrohr trägt, in welchem die Linse verschiebbar befestigt ist. Steht die Flamme gerade im Focus der Linse, so wird der gewünschte Zweck erreicht sein; wenigstens wird dann eines der geschlossenen Bündel von Parallelstrahlen vollkommen mit der Axe des Collimatorrohrs zusammenfallen; auch werden etwaige Schwankungen in der Helligkeit des lichtgebenden Punktes sich nur als geringere Helligkeitsschwankungen einer gleichmäßig leuchtenden Scheibe bemerklich machen, und alle einzelnen Stellen der letzteren müssen, wenn sie es thun, ihre Lichtintensität immer um gleichviel und gleichzeitig ändern, so daß namentlich ein Intensitätsunterschied zwischen dem Oben und Unten nicht möglich ist.

Durch die Anwendung der beiden Spiegel wird, wie sich aus Fig. 103 ergiebt, diejenige Strahlenhälfte, welche ursprünglich die untere war, noch vor dem Spalte zur oberen gemacht, und Strahlenbündel, welche ursprünglich benachbarte waren, wie o' und o'', werden eben dadurch auseinander gerückt. Dieser letztere Umstand erleichtert nun ganz wesentlich die Aufstellung des Flüssigkeitsbehälters vor dem Apparate. Während bei Anwendung des Doppelspaltes sehr viel darauf ankommt, daß die Grenze zwischen lichtabsorbirender Flüssigkeit und Glaseinsatz genau mit der Grenze der beiden Schieber zusammenfällt, ist hier für die Einstellung jener ersteren Grenze ein bequemer Spielraum gelassen, und in keinem Falle kann die nämliche Grenze das störende Auftreten einer dicken dunklen Linie zwischen beiden Spectren veranlassen. Die Grenze zwischen den beiden Spectren bleibt hier immer der untere scharfe Rand des oberen Spiegels, der, wenn das Fernrohr A (Fig. 101) darauf eingestellt ist, stets nur als dünne, zarte Linie erscheint.

Der andere Umstand, daß Spalt und Spiegelrand nicht in einer Ebene liegen, könnte dagegen Bedenken erregen; denn stellt man das Fernrohr scharf auf den Spiegelrand ein, so werden die Spectren, wenn man aber auf den Spalt einstellt, so wird die Grenze weniger scharf erscheinen. Zahlreiche Versuche haben nun zwar gezeigt, daß man innerhalb der sonstigen Fehlergrenzen dieselben Resultate erhält, gleichgültig, ob man den einen oder den anderen Ausweg wählt. Da es indessen scheint, als ob das Gleichmachen der Helligkeit beider Felder rascher gelänge, wenn die Grenze weniger scharf markirt ist, so zieht Hüfner es vor, das Fernrohr auf einen Punkt einzustellen, der dem Spalte näher liegt, als der Spiegelgrenze.

Was nun aber die etwaige Unreinheit des Spectrums betrifft, so ist sie in der That schwerlich zu merken; denn es lassen sich selbst in dem Falle, wo man die Grenze scharf erblickt, die wichtigeren Fraunhofer'schen Linien noch deutlich erkennen. Jedenfalls ist die Forderung der Gleichartigkeit der Farbe beider Felder jederzeit streng erfüllt.

Daß auf die Auswahl des Nicols die größte Sorgfalt verwandt werden muß, ist von anderen Seiten schon oft hervorgehoben worden. Hier soll nur betont werden, daß, um den etwaigen Fehler in der Stellung des Nullpunktes zu corri-

giren, man den Nicol, bis zur Herstellung gleicher Helligkeit oben und unten, nicht bloß nach der einen, sondern jedesmal auch nach der anderen Seite zu drehen hat, und daß immer erst das Mittel aus je zwei solchen, in verschiedenen Quadranten gemachten Ablesungen als einfache Beobachtung gelten darf. —

Derartige Apparate werden nun zwar bereits vielfach und mit bestem Erfolg zur quantitativen Bestimmung der in einer Flüssigkeit gelösten Stoffe benutzt, wegen ihres hohen Anschaffungspreises und ihrer schwierigeren Behandlung aber zu praktischen Lichtmessungen nur sehr selten.

Bei der weitaus am meisten ausgeführten Lichtmessung von Leuchtgasflammen kommt es oft weniger auf völlige Genauigkeit als auf Schnelligkeit der Bestimmung an. Für solche Zwecke ist das sogenannte Jet-Photometer von Lowe[1]) empfehlenswerth, welches auf der Eigenschaft der Einlochbrennerflamme beruht, daß bei gleicher Flammenhöhe der Gasverbrauch im umgekehrten Verhältniß, bei gleichem Verbrauch ihre Flammenhöhe im geraden Verhältniß zur Leuchtkraft steht. Auf einem sehr genau gearbeiteten multiplicirenden Druckmesser (s. d.) befindet sich ein Einlochbrenner

Fig. 104.

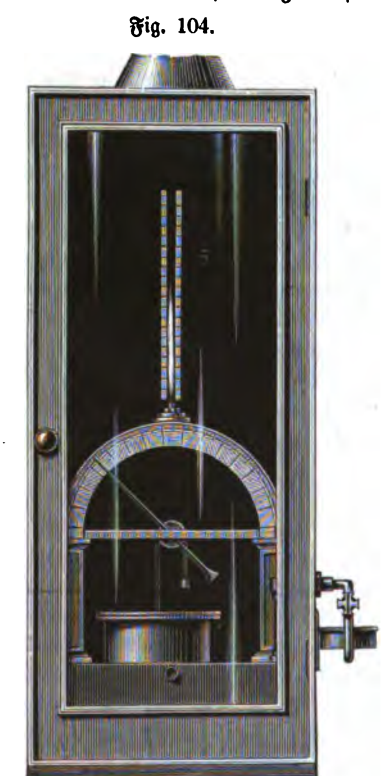
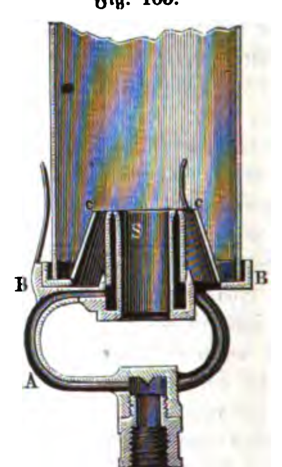


Fig. 105.



von Speckstein, dem das Gas durch einen kleinen, empfindlichen Druckregulator zugeführt wird. Das Ganze ist, wie Figur 104 zeigt, zur Abhaltung des Luftzuges in einen Holzkasten mit Glasthür eingeschlossen. Das Ablesen der Flammenhöhe geschieht an zwei Scalen, von denen die eine an der Glasthür, die

[1]) Schilling: Gasbeleuchtung, S. 219.

zweite auf einem emaillirten weißen Glas an der Rückseite des Kastens angebracht ist. Die Scala ist meist durch Vergleichung mit einem Bunsen'schen Photometer in Normalkerzen eingetheilt.

Nach Sugg [1]) kann man in entsprechender Weise den von ihm angegebenen Argandbrenner, den Fig. 105 in halber natürlicher Größe zeigt, verwenden; derselbe hat folgende Größenverhältnisse:

	engl. Zoll	Millimeter
Durchmesser der Röhren *A*, welche das Gas in den Brennerkörper führen	0,08	2,03
Aeußerer Durchmesser der Specksteinkammer *s*	0,84	21,33
Innerer Durchmesser derselben	0,48	12,19
Anzahl der Löcher 24		
Durchmesser der Löcher	0,045	1,14
Innerer Durchmesser des Conus *c* unten	1,5	38,10
" " " " oben	1,08	27,43
Höhe der Oberkante des Conus und des Brennerkörpers über dem Boden der Gallerie *B*	0,75	19,5
Höhe des Glascylinders	6,0	152
Durchmesser des Glascylinders	1,875	47

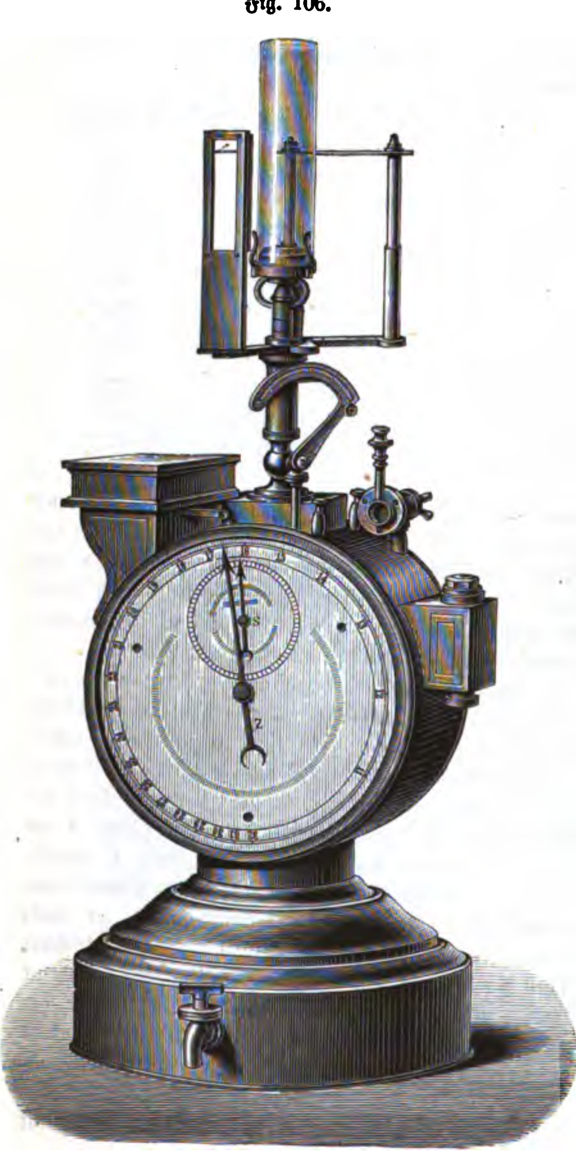
Das Sugg'sche Photometer (Fig. 106 a. f. S.) besteht nun aus einem solchen Argandbrenner auf einem genauen Gasmesser mit Regulator, welcher den Druck des Gases im Brenner während der Beobachtung constant hält. Es wird nun die Flamme auf die am Apparat angegebene Höhe eingestellt, worauf nach Beobachtung von einer Minute mittels des Secundenzeigers *s* der mit der Gasuhr verbundene Zeiger *z* die Lichtstärken in Wallrathkerzen direct angiebt.

Ganz besonders aber ist dieses Lichtmessungsverfahren von Giroud [2]) ausgebildet. Bei seinem sogenannten Photorheometer (Fig. 107) ist die Stange *a* hohl, ebenso der Conus, der sich nach unten durch das Rohr *a'* verlängert, dessen lichter Querschnitt gleich ist dem unteren Querschnitt der Oeffnung *D*. Das Rohr *a* mündet oberhalb der Glocke *d*, *a'* taucht in Glycerin, womit der untere Theil des Raumes *E* gefüllt ist, welcher durch die Säule *M* mit dem oberen Theile *A* des Regulators verbunden ist, und in welchen das Gas durch den Hahn *L* eintritt. Der an dem Manometer *N* zu beobachtende Druck oberhalb der Glocke bleibt unveränderlich (vergl. den Abschnitt d. Buches: Gasdruckregulatoren), er wirkt durch das Rohr *a* im Innern des Conus von unten nach oben und erleichtert dadurch den beweglichen Theil des Apparates. Der veränderliche Eingangsdruck übt keinen Einfluß in senkrechter Richtung aus, mit Ausnahme des Druckes, der sich durch das Glycerin auf die Wand des Rohres *a'* ergiebt. Dieser Druck ist ausgeglichen durch jenen Druck, der sich von oben nach unten auf die correspondirende Fläche des Conus ergiebt. Das Glycerin steigt im Rohre *a'* mehr oder weniger hoch, je nach der Höhe des Eingangsdruckes, da jedoch der Querschnitt

[1]) Journ. of Gasl. 1876, 161, *618; Americ. Gasl. J. 1878, *53. — [2]) Journ. f. Gasb. 1874, *129, 159; Technologiste 1879, *327, *372.

von a' gegen denjenigen von E verschwindend klein ist, so kann man die Fläche des Glycerins in E als constant betrachten.

Fig. 106.



In der Stellung, in welcher die Abbildung den mit Handgriff R versehenen Hahn T zeigt, ist die Verbindung zwischen den inneren und äußeren Röhren H unterbrochen, so daß also nur durch die Oeffnung o Gas abgeht. Dreht man aber um 180°, so ist die volle Verbindung hergestellt und kann man zwischen diesen beiden Extremen jeden beliebigen Gasverbrauch herstellen. Die Größe der Oeffnung o ist so gewählt, daß sie stündlich 38 Liter Pariser Gas durchläßt. Der Einlochbrenner P auf dem Deckel giebt dann die Leuchtkraft einer Kerze, die Pariser Normallampe (S. 73) zu 7,5 Kerzen angenommen, und eine Flamme von 105 mm Höhe, welche durch den kleinen Draht V gemessen wird.

Der Apparat dient als Normalflamme, dann aber zur Prüfung der Veränderung der Leuchtkraft, indem man die Flamme in gleicher Höhe hält, worauf dann die Leuchtkraft des Gases sich umgekehrt verhält wie der Gasverbrauch.

Der in Fig. 108 (a. S. 96) dargestellte Gasprüfer besteht im Wesentlichen aus den beiden Photorheometern A und D und der Gasuhr C. Das erste Photo-

rheometer regelt den Druck, unter welchem das Gas gemessen wird, das zweite das Volumen, welches ausströmen muß, wenn das Gas normal ist. Der Meßdraht p an dem letztern Apparat läßt die Abweichungen erkennen, und die Gasuhr die Schwankungen im Verbrauch.

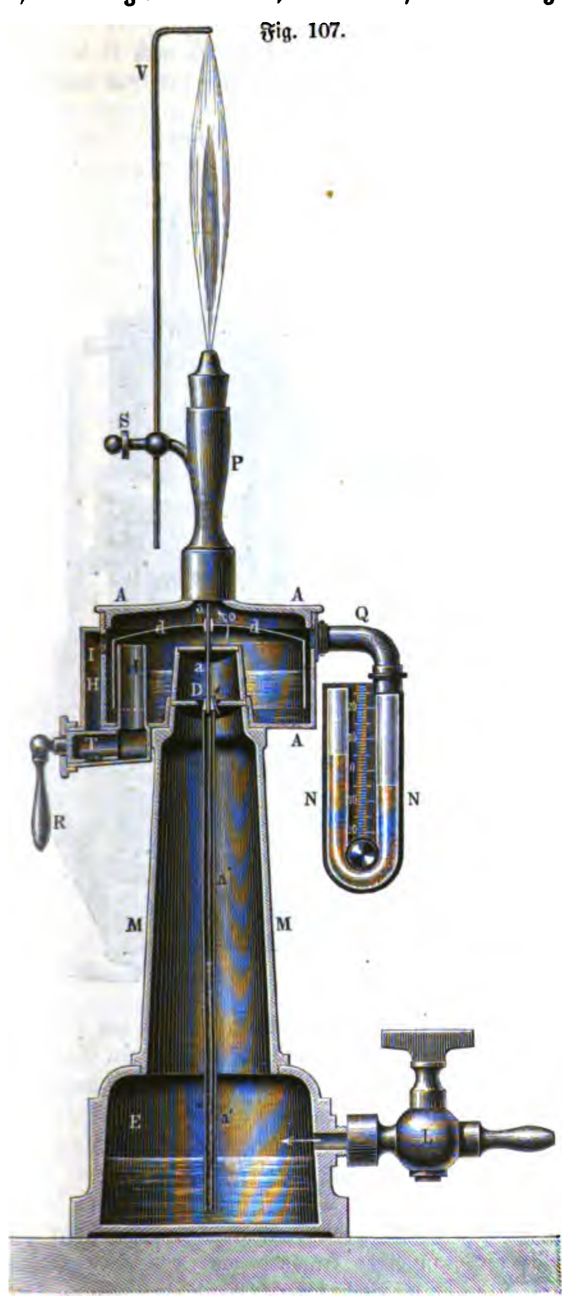
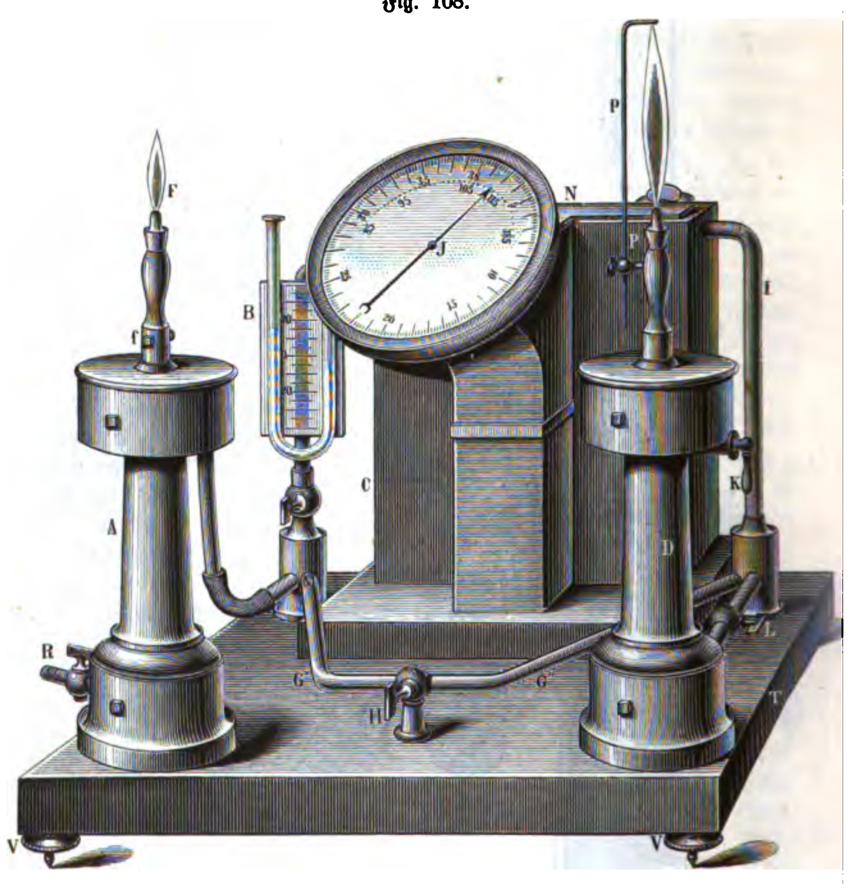


Fig. 107.

Das Gas tritt zum Photorheometer A bei R ein, und zwar tritt ein geringer Theil durch die Oeffnung in der Glocke aus und verbrennt aus dem Brenner F. Der größere Theil geht von dem Raum unter Glocke weiter durch den ganzen Apparat und speist schließlich den Brenner P. Das erste Photorheometer dient zur Herstellung eines constanten Druckes von 28 bis 30 mm, unter welchem die Gasuhr stets das durchgehende Gas messen soll. Zu diesem Zweck stellt man den Wechsel f, und ändert damit den oberhalb der Glocke wirkenden Gegendruck soweit, bis an dem Manometer B der gewünschte Druck angezeigt wird. Das Gas geht zum Manometer und weiter durch das Rohr G', von welchem bei M eine Abzweigung in den Fuß der Gasuhr abgeht, um den Wasserstand in

der Uhr constant zu halten. Wenn der Hahn H geschlossen ist, so geht das Gas durch den Fuß in die Gasuhr, um nach entsprechender Bewegung des direct auf der Trommelaxe sitzenden Zeigers durch das Rohr I und L nach D und zum Brenner P zu gelangen. Ist der Hahn H offen, so geht das Gas durch das

Fig. 108.



Rohr G'' direct von einem Photorheometer zum andern. Durch den Hahn H kann man somit die Uhr in Gang setzen und wieder stillstellen ohne den Gasstrom zu unterbrechen. Die kleinen Ungleichheiten im Gange der Trommel, welche bei der sorgfältigsten Herstellung nicht ganz vermieden werden können, sind hier ohne Bedeutung, weil für jede Beobachtung eine ganze Trommelumdrehung erforderlich ist. Das Zifferblatt J trägt zunächst eine Theilung von 38 Liter, eine zweite Theilung entspricht den Erfahrungsziffern von Dumas und Regnault, so daß man die Resultate, welche man mit dem Photorheometer D erhält, direct mit jenen vergleichen kann, die der französische Argandbrenner von Bengel mit 30 Löchern giebt (vergl. S. 81). Die Beobachtung dauert eine Minute, die

Theilung multiplicirt die wirklich durchgegangene Gasmenge mit 60; der Draht *p* wird so gestellt, daß er von der Brenneröffnung bis zur Flammenspitze genau 105 mm mißt. Die Glockenöffnung läßt genau 38 Liter normales Gas hindurch. Oeffnet man den Hahn *K* und läßt einen Zuschuß an Gas zu, so hat man dasselbe Ergebniß, als wenn man das Loch in der Glocke und damit die Flamme *P* vergrößert. Das Entgegengesetzte tritt ein, wenn man den Hahn *L* schließt.

Um den Apparat in Gang zu setzen, stellt man zunächst den normalen Druck am Manometer her. Wenn die Flammen angezündet sind, der Hahn *L* offen und *H* geschlossen, so öffnet man den Letzteren in dem Augenblicke, wo der Zeiger auf 38 steht und arretirt dadurch die Gasuhr.

Nun kann die Beobachtung eine dreifache sein:

1. Die Flamme erreicht genau die Höhe von 105 mm; dann ist die Leuchtkraft normal, und man hat nur zu untersuchen, ob der Verbrauch genau 38 Liter ist. Man schließt den Hahn *H* in dem Augenblick, wo eine Secundenuhr auf 0 steht, läßt das Gas genau eine Minute lang durch die Gasuhr gehen, öffnet alsdann denselben Hahn, und wenn dann der Zeiger auf 38 steht, so ist der Verbrauch normal.

2. Ist die Flamme niedriger als *p*, so öffnet man den Hahn *K* soweit, daß man die Höhe von 105 mm erreicht, und untersucht den Verbrauch.

3. Ist die Flamme höher, dann regelt man die Höhe mittels des Hahnes *L* und bestimmt ebenfalls den Verbrauch.

Die Abweichungen im Gasverbrauch entsprechen den Unterschieden in der Leuchtkraft.

Die Füllung der Photorheometer mit Glycerin muß sehr sorgfältig geschehen. Um die Uhr mit Wasser zu füllen, muß man sie zunächst genau horizontal stellen, was dadurch geschieht, daß man eine Wasserwage auf die Messingplatte *N* aufsetzt, welche auf der Uhr befestigt ist, und die Stellung mittels der Schrauben *V* regelt. Alsdann gießt man langsam Wasser ein, bis es aus der Oeffnung im Fuß abfließt. Nun läßt man Gas ein, und läßt es 24 Stunden lang brennen, bevor man einen Versuch macht, damit das Wasser Zeit hat sich zu sättigen. In den ersten Tagen hat man sich bei den Versuchen stets zu überzeugen, ob der Wasserstand richtig ist.

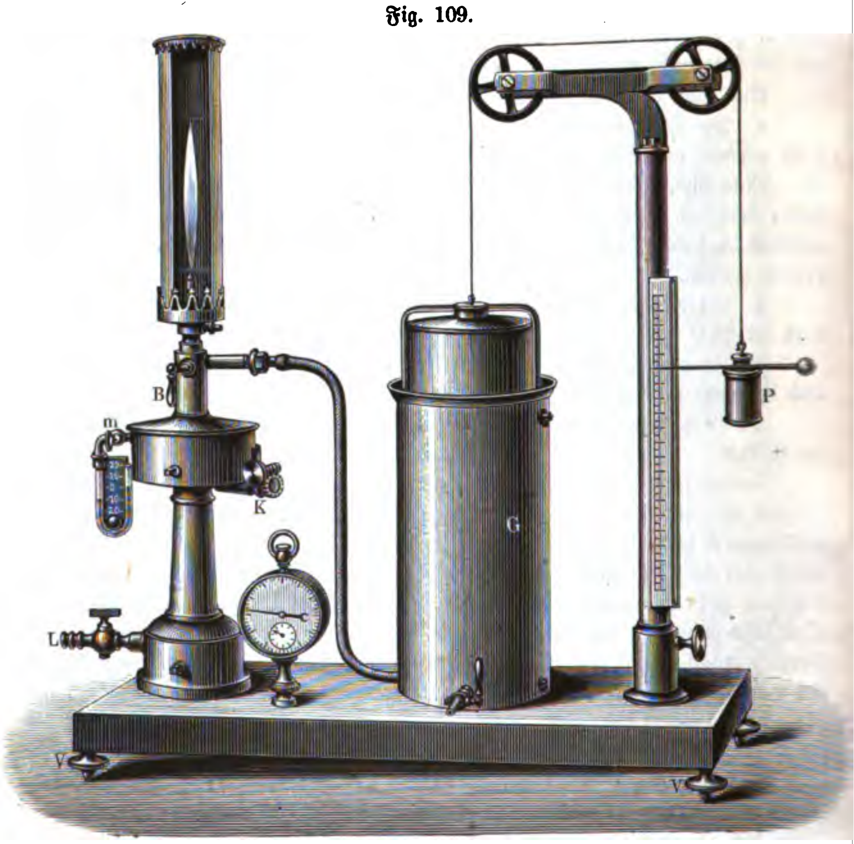
Der Apparat kostet 280 Francs; nach den Versuchen von Schilling ist er für Gasbeleuchtungsanstalten empfehlenswerth.

Bei dem in Fig. 109 (a. f. S.) abgebildeten Apparat tritt das Gas ebenfalls durch ein Photorheometer in einen Einlochbrenner, dessen 105 mm hohe Flamme von einem bis auf den dem Beobachter zugewendeten Streifen geschwärzten Cylinderglas umgeben ist, welches eine Marke für die richtige Flammenhöhe trägt. Bei der in der Zeichnung angegebenen Stellung des Dreiweghahnes *B* strömt das Gas aus dem Rheometer zum Brenner. Dreht man aber den Handgriff um 90° nach rechts, so ist der Brenner abgesperrt und die Verbindung mit dem Gasbehälter *G* hergestellt. Hat man nun den Durchgang des Gases durch das Rheometer so geregelt, daß die vorgeschriebene Flammenhöhe erreicht ist, so läßt man den durch das Rheometer constant erhaltenen Gasstrom genau eine Minute lang statt in den Brenner in den Gasbehälter *G* strömen; der Zeiger auf dem Gegengewicht *P* giebt dann das verbrauchte Gasvolumen an. Die richtige Ein-

stellung der Flammenhöhe wird mittels eines am Photorheometer befindlichen Umgangsrohres mit Mikrometerschraube *K* ausgeführt. Die Lichtstärke ergiebt sich in derselben Weise wie bei dem anderen Apparate.

Völlig abweichend von den bisher besprochenen Verfahren ist der Versuch von Siemens [1]), das zwei Lichtquellen vergleichende menschliche Auge gleichsam durch den elektrischen Strom zu ersetzen, indem er die eigenthümliche Eigenschaft des krystallinischen Selens benutzt, im Licht die Elektricität besser zu leiten als im

Fig. 109.



Dunkeln. Durch Ausfüllung der Zwischenräume von zwei kleinen flachen Drahtspiralen mit grobkrystallinischem Selen ist es ihm gelungen, einen photometrischen Apparat herzustellen, der unter Anwendung einer Daniell'schen Zelle hinlänglich starke Ströme giebt, um noch sehr schwache Lichtstärken durch Messung derselben mit hinlänglicher Schärfe vergleichen zu können.

Am Ende eines kurzen drehbaren Rohres befindet sich das Selenpräparat; die Enden der beiden Spiraldrähte stehen mit einander durch eine Daniell'sche

---

1) Dingl. 1875, 217, 61; 1878, 229, 298; Poggend. 159, 117.

Zelle und den Umwindungsdraht eines Galvanometers in leitender Verbindung, so daß die Nadel abgelenkt wird. Entfernt man den Deckel des Rohres und läßt das Licht der zu messenden Flamme auf die Selenscheibe treffen, so nimmt die Leitungsfähigkeit des Selens, entsprechend der Stärke des drauffallenden Lichtes, zu, die Ablenkung der Galvanometernadel wird also größer. Dreht man nun das Rohr so, daß es, statt auf die zu messende Flamme, auf eine Normalkerze gerichtet ist, und regelt die Entfernung derselben so, daß die Ablenkung der Nadel dieselbe wird, und dieselbe bleibt, wenn das Selen abwechselnd durch die zu messende Flamme und die Normalkerze beleuchtet wird, so ist die Lichtwirkung beider gleich und die Lichtstärken stehen mithin im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate ihrer Abstände von der Selenplatte.

Börnstein [1]) zeigt, daß auch Platin, Gold und Silber im Licht leitender werden; eine entsprechende Anwendung dieser Eigenschaft ist jedoch noch nicht gemacht.

Dewar [2]) hat die elektrischen Ströme untersucht, welche durch Einwirkung des Lichtes auf verschiedene Stoffe entstehen. Darnach sind die elektrischen Ströme, welche herrühren von der Wirkung des Lichtes auf bestimmte Salze, stark beim Ferro- und Ferricyankalium; von organischen Säuren ist das weinsteinsaure Uran eine der wirksamsten. Eine Mischung von seleniger und schwefliger Säure in Gegenwart von Chlorwasserstoffsäure ergiebt starke Ströme unter der Einwirkung des Lichtes. Die Reihe der Substanzen, welche nachweislich chemische Zersetzungen durch Lichtwirkung erleiden, und in Folge dessen elektrische Ströme erzeugen, sind sehr groß, ob aber dieses Verhalten zu photometrischen Messungen geeignet ist, steht dahin.

Nachträglich möge noch das während des Druckes dieser Abhandlung bekannt gewordene Skalenphotometer von Zöllner [3]) besprochen werden. Nach Zöllner beweisen die von Crookes angestellten Untersuchungen über das Radiometer, daß zwischen Körpern in wahrnehmbaren und deshalb meßbaren Abständen lebendige Kraft in Gestalt von Molecularbewegung übertragen und hierdurch Bewegungen der strahlenden und bestrahlten Körper erzeugt werden können. Mag nun diese Uebertragung der lebendigen Kraft mit dem materiellen Träger derselben durch Emission, oder ohne denselben durch Undulation geschehen, in beiden Fällen werden an denjenigen Stellen eines Körpers, auf welche solche Strahlen treffen, moleculare Gleichgewichtsstörungen erzeugt, durch welche sich unter geeigneten Bedingungen Molecüle von der Körperoberfläche ablösen und hierdurch vermöge der mechanischen Reaction einen der Richtung des auffallenden Strahles entgegengesetzten Druck auf den Körper erzeugen. Die Größe dieses Druckes wird bei bestimmter Intensität der Bestrahlung im Allgemeinen durch die Beschaffenheit der Körperoberfläche, der Wellenlänge der auffallenden Strahlen und der Beschaffenheit des umgebenden Raumes bedingt sein. Von denselben Umständen ist nun auch die physiologische Reaction unseres Auges gegen Lichtstrahlen abhängig, denn die Stärke des empfundenen Lichtreizes hängt von der Reizbarkeit der Netz-

---

[1]) Habilitationsschrift; Heidelberg 1877. — [2]) Proc. Roy. Soc. 27, 354. — [3]) F. Zöllner: Das Skalenphotometer (Leipzig, 1879), S. 93.

haut, von der Wellenlänge der Lichtstrahlen und von der Transparenz und der Absorptionsfähigkeit der wässerigen Bestandtheile des Auges ab, durch welche die Strahlen zu einem Bilde auf der Netzhaut vereinigt werden.

Fig. 110.



Wir bezeichnen für gewöhnlich mit dem Namen Licht nur die Wirkung solcher Strahlen, welche im Stande sind, durch Vermittlung der Netzhaut unsere Sehnerven zu reizen. Obschon bei gleicher objectiver Beschaffenheit der Strahlen die Stärke dieses Reizes zwischen verschiedenen Personen Aenderungen unterworfen sind, so wird man doch unter dem Namen Lichtmesser oder Photometer stets nur solche Instrumente verstehen, durch welche man im Stande ist, quantitative Vergleiche zwischen solchen Strahlengattungen anzustellen, welche vorzugsweise unsere Netzhaut reizen. Dieser Forderung genügen nun nach Zöllner die radiometrischen Erscheinungen in luftverdünnten Räumen, und zeigen die Figuren 110 und 111 Durchschnitt und Ansicht des auf diesen Erscheinungen beruhenden Skalenphotometers. In einem Glasgefäße befindet sich an einem für die Sicherheit des Transportes hinreichend starken Coconfaden das aus vier Flügeln bestehende Radiometerkreuz. Was den Stoff und die Zubereitung der Flügel betrifft, so war ein besonderes Augenmerk darauf zu richten, daß bei schnellen Temperatur-

erhöhungen des Instrumentes keine regressiven Bewegungen eintreten, welche

Fig. 111.



bei schneller Steigerung der Temperatur auf zwei verschiedenen Ursachen beruhen. Erstens geben hierzu formelle Verschiedenheiten der beiden Seiten der Flügel (z. B. Halbschalen) oder die Neigung derselben zur Drehungsaxe Veranlassung, indem hierdurch bei vorherrschender Emission der Gefäßwandungen Drehungsmomente erzeugt werden, welche unter geeigneten Umständen die Reactionswirkungen compensiren können, die durch Emissionen an den Oberflächen der beweglichen Flügel entstehen und bei photometrischen Apparaten allein als Maß für die Intensität des wirksamen Lichtes benutzt werden müssen. Zweitens können aber diese regressiven Bewegungen auch durch die Verschiedenheit des Absorptions- und Reflexionsvermögens für Wärmestrahlen der auf beiden Seiten von ebenen und parallel der Drehungsaxe befestigten Radiometerflügeln entstehen. Dies ist z. B. bei blanken Aluminiumflächen der Fall, welche einseitig mit durchsichtigen Glimmerblättchen belegt sind. Wird ein aus solchen Flügeln construirtes Radiometer von außen, z. B. mit der Hand, erwärmt, so werden die von der inneren Gefäßwand ausgehenden dunklen Wärmestrahlen von der mit Glimmer belegten Seite stärker absorbirt

als von der unbelegten Metallfläche. Durch jene Absorption erwärmt sich das Glimmerscheibchen beträchtlich schneller als die unbelegte metallische Seite der Flügel und hierdurch überwiegen bis zur Ausgleichung der Temperatur die Emissionsprocesse von den mit Glimmer belegten über diejenigen von den metallischen Oberflächen und es findet eine Rotation statt, welche der bei leuchtenden Strahlen entgegengesetzt gerichtet ist.

Es müssen folglich bei der Construction eines auf diesen Bewegungen beruhenden Photometers zur Verminderung des störenden Einflusses plötzlicher Temperaturschwankungen die angedeuteten regressiven Bewegungen vermieden werden. Nach mehrfach angestellten Versuchen hat sich am zweckmäßigsten ein Radiometerkreuz von Glimmer erwiesen, dessen Flächen einseitig mit Ruß überzogen sind. Ein solches Kreuz dreht sich sowohl unter dem Einfluß leuchtender als auch dunkler Wärmestrahlen stets nach derselben Richtung. Wenn man daher die oben erwähnten absorbirenden Stoffe anwendet, so können Compensationswirkungen der besprochenen Art die photometrischen Messungen nicht stören. Außerdem werden auch jederzeit plötzliche und große Temperaturschwankungen des Beobachtungsraumes leicht vermieden werden können, da das Instrument an einem ruhigen, vor starken Erschütterungen geschützten, Orte aufgestellt werden muß, um die Scala zur Ruhe kommen zu lassen. Letztere besteht aus einem kreisförmigen Papiercylinder, dessen Umfang in 100 Theile getheilt ist. Der Index befindet sich vor einer Oeffnung in einer cylindrischen beweglichen Messingkapsel, deren Rand $m m'$ von dem darunter befindlichen vorspringenden Rand $r r'$ des oberen Messingstückes getragen wird und auf demselben leicht gedreht werden kann. Da der Nullpunkt der Scala erst nach längerem Stehen des Instrumentes eine hinreichend feste Lage einnimmt, so ist die Beweglichkeit des Index für eine Correction des Nullpunktes erforderlich. — Ferner stellt g (Fig. 110) den Durchschnitt eines starkwandigen, auf beiden Seiten mattgeschliffenen Glascylinders dar, theils zur Zerstreuung des Lichtes, theils zur Absorption dunkler Wärmestrahlen. Um diesen Glascylinder schließt sich von außen ein Messingcylinder, der seitlich eine durch einen Deckel leicht verschließbare, kreisförmige Oeffnung p mit einer Platte von Milchglas oder mattem Glase trägt. Alle diese Theile ruhen frei beweglich auf der metallenen Basis $t t'$ des Instruments und lassen sich nach oben leicht von dem Instrumente abheben. Am Kopfe bei L trägt das Photometer eine Dosenlibelle zur Verticalstellung. Die Zahl der Scalentheile wächst gemäß den Torsionsgesetzen proportional dem Drehungswinkel, wobei jedoch selbstverständlich darauf zu achten ist, daß nicht mehrere Umdrehungen der Scala unter dem Einflusse des directen Sonnenlichts stattfinden. Es ist daher durchaus nothwendig, das Instrument, wenn es nicht benutzt wird, stets mit verschlossener Oeffnung stehen zu lassen.

Da ferner die bestrahlten Flächen des Radiometers bei verschiedener Beleuchtung verschiedene Stellungen zu dem matten Glascylinder einnehmen, so ist es erforderlich, für eine möglichst allseitige und gleichmäßige Beleuchtung desselben zu sorgen. Bei der photometrischen Bestimmung von Kerzen- oder Gasflammen wird dieser Bedingung am leichtesten durch gleichzeitige Beleuchtung von vier Seiten durch vier Flammen entsprochen, deren Verbindungslinien sich im

Mittelpunkte des Instrumentes unter rechten Winkeln kreuzen. Bei Messungen des zerstreuten Tageslichtes, welche namentlich für Photographen von Wichtigkeit sind, kann man den äußeren Messingcylinder durch einen im Innern versilberten conischen Reflector mit nach oben gerichteter Oeffnung ersetzen. Erhält alsdann das Instrument an einem nicht der Sonne zugänglichen Ort seine dauernde Aufstellung, womöglich im Freien unter dem Schutze einer darüber angebrachten Glasglocke, so dient dasselbe dem Photographen als ein sehr nützliches Instrument zur sicheren Bestimmung der Expositionszeit. Daß die Temperatur, bei welcher die Beobachtung stattfindet, vermuthlich auf die Empfindlichkeit einen Einfluß ausüben wird — wenn auch einen für die in bewohnten Zimmerräumen vorkommenden Temperaturschwankungen praktisch zu vernachlässigenden —, scheint nach Beobachtungen über die Veränderung des Vacuums durch Erwärmung sehr wahrscheinlich. Es ist deshalb mit dem Instrumente in passender Weise ein Thermometer in Verbindung gebracht, dessen Stand bei genaueren Messungen notirt werden muß.

Im Allgemeinen ist der heutige Standpunkt der Lichtmessung noch mangelhaft und sind die bis jetzt bekannten Verfahren, die Leuchtkraft einer Flamme zu messen, längst nicht so zuverlässig, als die Wärmemessung.

Zunächst fehlt es an einer überall leicht zu beschaffenden völlig gleichen Lichteinheit; ob das Platinlicht (S. 74) diese Lücke ausfüllen wird, müssen weitere Versuche lehren.

Sodann ist die Vergleichung zweier Lichtquellen oft sehr erschwert durch die verschiedene Farbe derselben und durch die ungleiche Empfindlichkeit der Augen verschiedener Beobachter. So findet Charpentier[1]), daß ein stärkeres Licht erfordert wird um eine Gesichtsempfindung hervorzurufen als die einmal hervorgerufene zu unterhalten, daß namentlich nach längerem Verweilen in der Dunkelheit sich das Verhältniß beider Lichtmengen selbst bis auf 1 : 100 erhebt.

O. E. Meyer[2]) wandte zur Vergleichung der Farbe des Gas-, Sonnen-, Tages- und elektrischen Lichtes entweder das Verfahren von Vierordt (vergl. S. 88) an, welches aber nur bei einander nahe stehenden Helligkeiten genaue Resultate giebt, da sonst die Spectra zu unrein werden, oder aber es wurde ein Nicol'sches Prisma vor der einen Spalthälfte fest aufgestellt, welches das von der einen Lichtquelle kommende Licht empfing. Hinter ihm stand das in einem Kreise drehbare Nicol eines Wild'schen Polaristrobometers. Der durch beide Prismen tretende Lichtstrahl trifft dann auf ein rechtwinkliges Glasprisma, das ihn in den Spectralapparat reflectirt. Die zweite Spalthälfte wurde entweder direct oder durch Vermittlung eines zweiten rechtwinkligen Prismas von der zweiten Lichtquelle erleuchtet.

Die gefundenen Zahlen enthält die folgende Tabelle; die ersten sind nach der Vierordt'schen, die anderen nach der zweiten Methode erhalten. Das Verhältniß der Helligkeiten im Gelb ist stets gleich 1 gesetzt.

---

[1]) Compt. rend. 88, 189, 299. — [2]) Ztschr. f. angewandt. Elektr. 1879, 320.

	Gaslicht / Tageslicht	Gaslicht / Elektr. Licht
Roth	1,33	1,20
Gelb *D*	1,00	1,00
Grün *E*	0,50	0,70
Blau *F*	0,50	0,65
Violett *G*	0,31	0,56 bis 0,36

	Gaslicht / Sonnenlicht	Petroleumlicht / Sonnenlicht	Elektr. Licht / Sonnenlicht	Gaslicht / Elektr. Licht	
Roth	4,07	3,29 bis 2,12	2,09	1,71	1,88
Gelb *D*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grün *E*	0,43	0,60	0,87	0,35	0,45
Blau *F*	0,23	0,26	0,99	0,23	0,37
Violett *G*	0,15	0,15	1,03	0,08	0,13
Aeußerstes Violett	—	—	1,21	—	—

Aus den obigen Zahlen ergiebt sich, daß die Helligkeit der Farben im Gasspectrum im Vergleich zu der im Sonnen- oder Tageslicht und elektrischen Licht vom rothen bis zum violetten Ende des Spectrums stetig abnimmt.

Da das Sonnenlicht in den mittleren Theilen des Spectrums beträchtlich heller leuchtet als das elektrische Licht, so muß das elektrische Licht neben dem Sonnenlicht gelb erscheinen; in einem Ritchie'schen Photometer (S. 68) erschien in der That die von dem elektrischen Licht bestrahlte Fläche gegenüber der von der Sonne beleuchteten gelb wie eine Apfelsine. Es ist ferner bemerkenswerth, daß in dem Tageslicht verhältnißmäßig mehr rothes und gelbes und weniger blaues und violettes Licht enthalten ist als im Sonnenlicht.

Genaue Vergleiche wird man somit nur mit dem Spectralapparat ausführen können; sehr wünschenswerth wäre es, hiermit das Scalenphotometer von Zöllner (S. 100) zu vergleichen. Genaue Messungen sind bis jetzt nicht ausführbar; für praktische Zwecke wird man wohl vorläufig bei dem Bunsen'schen Verfahren (S. 78) stehen bleiben.

Untersuchung der Brennstoffe.

Bei der Untersuchung der Brennstoffe, namentlich der fossilen, ist zunächst zu berücksichtigen die Form und Größe der Stücke, die Festigkeit derselben, fremdartige Einmengungen u. dergl. Es ist ferner zur Beurtheilung einer Kohle zu empfehlen, nicht nur eine Durchschnittsprobe zu untersuchen, sondern auch eine Anzahl einzelner, schon äußerlich verschiedener Stücke, um so die Verschiedenheit in der Zusammensetzung festzustellen.

Scheurer-Kestner breitete einen Kohlenhaufen von etwa 20 000 kg Gewicht gleichmäßig aus, nachdem die größeren Stücke vorher zerkleinert waren; und entnahm hierauf von der ganzen Fläche des Haufens, der 50 qm einschloß, eine Probe von 100 kg. Diese Probe wurde in einer Mühle zerkleinert, die zerkleinerte Substanz ausgebreitet und durch zwei sich kreuzende Linien in vier Portionen getheilt, und die mit den Spitzen zusammenstoßenden Flächen entnommen. Diese Operation wurde so oft wiederholt, bis die Substanz auf etliche Kilogramm sich gemindert hatte, diese nun sorgfältig pulverisirt und mit der Theilung wie vorher fortgefahren, bis schließlich eine Probe von 200 g erhalten wurde.

Specifisches Gewicht. Da die Brennstoffe durchweg porös sind, so kann entweder das specifische Gewicht der Substanz selbst, oder der ganzen Stücke mit Einschluß der Poren in Frage kommen. Ersteres kann man passend mit dem von F. Rüdorff [1]) angegebenen Apparat (Fig. 112, a. f. S.) ermitteln. Das Glasgefäß *n* von etwa 25 ccm Inhalt ist durch einen engen, die Marke *s* tragenden Hals mit dem Gefäße *m* von etwa 40 ccm Inhalt verbunden, welches wieder in ein etwa 65 mm langes und 10 mm dickes Glasrohr mit dem Hahn *t* ausläuft. Das Gefäß *n* trägt seitlich das Manometer *r* und oben eine aufgeschliffene Kappe mit dem Glashahn *h*.

Zur Anstellung eines Versuches wird das Manometer *r* zur Hälfte, das Gefäß *m* nebst Rohr aber bis in das Gefäß *n* mit Quecksilber gefüllt. Durch Oeffnen des Hahnes *t* wird nun das Quecksilber bis zur Marke *s* abgelassen, ein

---

1) Dingl. 1879, 232, *417.

passendes Glasrohr in das Gefäß *n* gebracht, die Kappe bei geöffnetem Hahn *h* fest aufgesetzt und dieser dann geschlossen. Nun wird durch Oeffnen des Hahnes *t* so lange Quecksilber abgelassen, dessen Volum durch Wägung bestimmt wird, bis das Manometer eine Druckverminderung von etwa 0,5 Atm. zeigt. Dann wird ein zweiter Versuch in derselben Weise gemacht, nur wird das Glasrohr in *n* mit der zu untersuchenden Substanz, deren Gewicht vorher ermittelt ist, gefüllt. Hierbei ist darauf zu achten, daß der Stand des Quecksilbers im Manometer genau derselbe ist wie im ersten Versuch, so daß also der Druck im Innern des Apparates in beiden Versuchen gleich ist. Aus zwei solchen zusammengehörigen Versuchen läßt sich das Volum der verdrängten Luft berechnen.

Fig. 112.



Bezeichnet man den Abstand der Quecksilberoberflächen im Manometer mit m, den von einem Barometer abgelesenen Luftdruck mit b, so ist $b - m = d$ der Druck, unter welchem sich die Luft im Apparat befindet. Ferner sei q das Volum des im ersten, q' das Volum des im zweiten Versuch abgelassenen Quecksilbers. Mit v und v' sei das gesammte Volum der Luft im ersten und zweiten Versuch bezeichnet. Das Volum des Röhrenabschnittes, in welchem das Quecksilber in dem einen Manometerschenkel steigt, sei x, dann verhält sich

$$v:(v+q-x) = (b-m):b \text{ und } v':(v'+q'-x) = (b-m):b.$$

Aus diesen beiden Gleichungen folgt, wenn man schließlich $(b-m) = d$ setzt: $v - v' = \frac{(q-q')\,d}{m}$; $v - v'$ ist aber das Volum des zu untersuchenden Körpers. Es läßt sich dieses also aus den Werthen q, q', m und b berechnen.

Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes ganzer Stücke werden dieselben mit einer dünnen Schicht Paraffin oder Wachs überzogen, worauf man in bekannter Weise ihr Gewicht an der Luft und im Wasser ermittelt. Der Unterschied beider specifischen Gewichte giebt Aufschluß über die Porosität der untersuchten Stücke. Immerhin ist sehr wohl zu berücksichtigen, daß diese Angaben nur dann die Dichtigkeit der Brennstoffe selbst genau darstellen, wenn gleichzeitig von dem betreffenden Stücke die Menge der Asche und ihr specifisches Gewicht bestimmt ist. Dabei ist zu bemerken, daß die Aschenbestandtheile nach dem Verbrennen der Kohle voraussichtlich eine andere Dichte haben als vorher, um so mehr

Schwefelkies in Eisenoxyd, Calciumcarbonat in Calciumoxyd oder Calciumsulfat übergehen. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes ist wohl geologisch wichtig, für technische Zwecke aber unwesentlich.

Bestimmung der eingeschlossenen Gase. Um die in Kohlen eingeschlossenen Gase zu erhalten, bringt Meyer[1]) die Kohlen in kochendes Wasser, kocht weiter um zunächst die mitgerissene atmosphärische Luft zu entfernen und fängt erst dann die entwickelten Gase auf, um sie in der bei der Untersuchung der Gase besprochenen Weise zu untersuchen. Parry[2]) und Thomas[3]) erhitzen Koke oder Braunkohle im luftleeren Raum und saugen die Gase mittels der Quecksilberluftpumpe ab.

Es erscheint noch keineswegs ausgemacht, ob die bisher gefundenen Gase bereits fertig in den Kohlen enthalten sind oder nicht vielmehr erst beim Erwärmen, namentlich wenn dieses unter Wasser geschah, gebildet wurden. Jedenfalls hat diese Untersuchung, vorläufig wenigstens, keinen technischen Werth.

Bestimmung des Wassergehaltes. In der Regel werden zur Bestimmung des Wassergehaltes 1 bis 5 g des Brennstoffs bei 100 bis 110° getrocknet, bis zwei aufeinanderfolgende Wägungen keine Gewichtsabnahme mehr erkennen lassen[4]). Schondorff[5]) trocknet die Kohle sogar bei 90°, Richardson[6]) bei 100°, Hinrichs[7]) trocknet die fein gepulverte Kohle auf einem Uhrglase eine Stunde bei 115°. Regnault[8]) meint aber, daß die Wasserbestimmungen bei 100° ungenau seien, sobald die Kohle Thon enthalte, da dieser erst bei Rothglut sein Wasser verliere. Richters[9]) bringt zur Bestimmung des hygroskopischen Wassers die fein gepulverte Kohle zunächst unter eine Glocke neben ein Schälchen mit Wasser, läßt bei 15° stehen und trocknet dann bei 100°.

Daß diese gewöhnlichen Trockenmethoden keineswegs genaue Resultate geben, zeigen u. A. folgende Versuche.

Fein gepulverte Bantorfer Kohle verlor 3 Stunden auf 110° erhitzt 1,83 Proc. und wurde in einer Nacht über Wasser wieder 2,59 Proc. schwerer. 2,153 g derselben Probe zwischen zwei Uhrgläsern (Fig. 113 a. f. S.) drei Stunden auf 100 bis 105° erhitzt, wogen 2,060 g,

nach zweitägigem Stehen an der Luft und einstündigem Erhitzen auf 110°	2,083
nach weiteren drei Stunden	2,105
zwei Tage über Wasser	2,199
drei Stunden auf 110° erwärmt	2,129
acht Tage an der Luft	2,202
zwei Stunden auf 110° erwärmt	2,147

---

[1]) J. pr. Chem. II, 5, 144, 407; Dingl. 1871, 201, 461; 1872, 204, 462; 206, 496. — [2]) Dingl. 1872, 204, 470. — [3]) Chem. News 1877, 249. — [4]) Kerl: Probirbuch, S. 131; Stein: Untersuchung der Steinkohlen Sachsens, S. 14. — [5]) Ztschr. f. B. H. Sal. 1875, 138. — [6]) J. pr. Chem. 11, 165; Dingl. 1836, 67, 212. — [7]) Z. anal. Chem. 1869, 132. — [8]) Ann. de min. III, 12, 161. — [9]) Dingl. 1870, 195, 320.

2,471 g derselben Probe auf einem offenen Uhrschälchen zwei Stunden auf 100⁰ erwärmt wogen 2,423 g

nach einer Stunde auf 110⁰	2,435
nach zwei Stunden auf 110⁰	2,464
dann eine Nacht über Wasser	2,550
wieder drei Stunden auf 110⁰	2,473
dann eine Nacht über Wasser	2,559
wieder zwei Stunden auf 110⁰	2,487

Die Kohle hatte also beim ersteren Versuch zwischen zwei Uhrgläsern trocken 78 mg oder 4 Proc., auf dem offenen Uhrglase aber in zwei Tagen 64 mg oder

Fig. 113.



2,6 Proc. zugenommen, und zwar wie folgender Versuch zeigt durch Aufnahme von Sauerstoff.

4 g derselben Kohlenprobe wurden in einem Röhrchen drei Stunden lang auf 100 bis 110⁰ erwärmt und dabei 2 Liter trockne, kohlensäurefreie Luft übergeleitet; die Kohle verlor 1,778 Proc., die übergeleitete Luft aber enthielt:

Wasser	1,844	Proc. der Kohle
Kohlensäure	0,125	" " "
Kohlenstoff	0,049	" " "
Wasserstoff	0,022	" " "

Die Kohle hatte also in den drei Stunden 0,07 Proc. Kohlenwasserstoff und 0,125 Proc. Kohlensäure abgegeben, dagegen 0,262 Proc. Sauerstoff aufgenommen. Wahrscheinlich ist auch ein Theil der Kohlensäure und des Wassers erst durch Oxydation der Kohlenbestandtheile gebildet. Bei der Bestimmung des Wassers in den fossilen Brennstoffen ist daher der Zutritt der atmosphärischen Luft auszuschließen oder doch möglichst zu beschränken.

Für technische Zwecke erwärmt man daher 2 bis 4 g des zu untersuchenden Brennstoffes zwischen zwei Uhrgläsern oder in einem Tiegel mit gut schließendem Deckel zwei Stunden lang auf 100 bis 110⁰ im Luftbade, läßt erkalten und wiegt. Das Trocknen geschieht passend in dem aus starkem Kupferblech hergestellten Kasten *a b* (Fig. 114), dessen Oeffnung *c* ein Thermometer *d* trägt, während die Uhrgläser und Tiegel auf das Gestell *e* gesetzt werden.

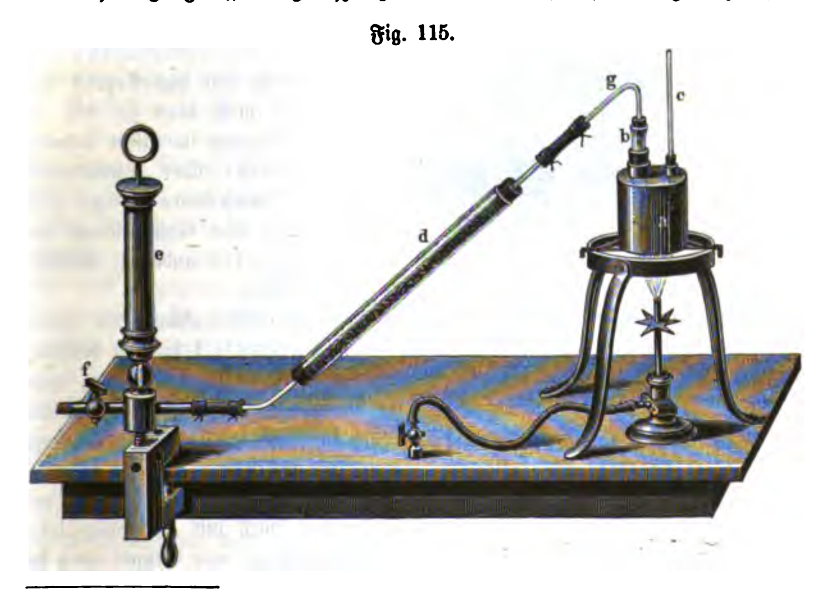
Für wissenschaftlich genaue Versuche erwärmt man das Glasrohr *b* (Fig. 115) mit der zu untersuchenden Probe in dem mit Thermometer *c* versehenen Kupfergefäß *a* auf 100⁰, pumpt mittels der Luftpumpe *e* die Luft aus, läßt nach einiger

Zeit durch Oeffnen des Hahnes *f* durch pyrogallussaures Kali vom Sauerstoff befreite Luft oder Wasserstoff eintreten, welche durch das Chlorcalciumrohr *d* getrocknet werden und wiederholt diese Operation noch einige Male. Bequemer ist jedoch die Anwendung des Rochleder'schen Trockenapparates [1]). Der Cylinder von Kupferblech *B* (Fig. 116 a. f. S.) ist mit Paraffin gefüllt und trägt das Gefäß aus Eisen oder Glas *A*, welches Quecksilber enthält. In dieses Quecksilber taucht ein Thermometer und das Glasrohr *C* mit der zu untersuchenden Probe. Man leitet nun durch das unten etwas umgebogene Rohr *b* einen langsamen Strom trocknen Wasserstoff oder Kohlensäure ein, das durch das Rohr *a* entweichende Gas aber zum Vergleich durch ein Rohr mit Chlorcalcium oder Schwefelsäure, um durch Wägung desselben gleichzeitig eine directe Wasserbestimmung auszuführen.

Fig. 114.



Fig. 115.



1) J. pr. Chem. 66, 208.

Nach zweistündigem Erwärmen auf 100° ist die Trocknung völlig beendet. Statt dieses Paraffin- und Quecksilberbades kann man natürlich auch ein Luftbad

Fig. 116.

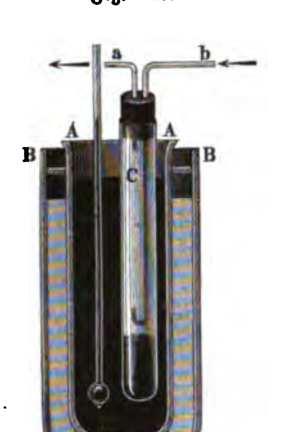


Fig. 117.





Fig. 118.



(Fig. 114) nehmen, dessen Decke eine entsprechende Oeffnung zum Einsenken des Rohres *C* hat.

Da die getrockneten Brennstoffe sehr hygroskopisch sind, so muß man sie bis zur Wägung in einem bedeckten Gefäß über concentrirter Schwefelsäure (Fig. 117) oder über Chlorcalcium, wie Fig. 118 andeutet, abkühlen lassen.

Bestimmung der Koksausbeute. Um bei der Untersuchung von Steinkohlen die Koksausbeute zu bestimmen, glüht G. Hinrichs[1]) 1 bis 2 g derselben in einem Platintiegel $3^1/_2$ Minuten über einer Bunsen'schen Flamme, dann $3^1/_2$ Minuten über dem Gebläse. Letzteres Verfahren führt leicht zu Verlusten.

Nach Merz[2]) werden etwa 5 g Kohle in einen bedeckten Porzellantiegel gebracht, der in einen zur Hälfte mit Thonpulver gefüllten, ebenfalls bedeckten Thontiegel so eingesetzt wird, daß die beiden Wände der Tiegel 1 bis 2 cm von einander abstehen. Der so gebildete Zwischenraum wird mit Holzkohlenstücken ausgefüllt und dann wird der Tiegel im Holzkohlenfeuer eine Stunde lang der

---

[1]) Ztschr. anal. Chem. 1869, 133. — [2]) Civiling. 1876, 218.

Rothglühhitze ausgesetzt. Merz erhitzte immer vier solche Tiegel gleichzeitig. Das Verfahren ist unbequem, ungenau und giebt keine der Technik entsprechenden Resultate, da die Erwärmung eine zu langsame ist. Ganz unbrauchbar ist die Koksbestimmung vor dem Löthrohr [1]).

Richters [2]) mischt 1 g der fein geriebenen lufttrocknen Kohle mit fein geschlämmtem Quarzpulver. Das Gemenge wird in einen 3 cm hohen und weiten Platintiegel lose eingetragen und bei aufgelegtem Deckel mittels der Flamme eines einfachen Bunsen'schen Brenners, welche bis zur äußersten Spitze eine Höhe von etwa 18 cm hat, so lange erhitzt, als noch mit leuchtender Flamme brennbare Gase entweichen. Der Tiegel wird dabei so tief in die Flamme eingesenkt, daß sein Boden etwa 6 cm von der Brennermündung entfernt ist. Sobald die Gasentwicklung beendigt ist, wird der Kokskuchen vorsichtig auf ein Eisenblech gebracht, so daß er mit seinem unteren Theil auf demselben ruht. Auf den Kuchen wird nun behutsam ein Gewicht von 0,5 kg gesetzt. Wird er bei dieser Belastung zerdrückt, so wird der Versuch mit einer geringeren Menge, bleibt er ganz, mit einer größeren Menge Quarzpulver und zwar so lange wiederholt bis der Kuchen im Stande ist, noch gerade das Gewicht zu tragen, ohne zerdrückt zu werden. Die Menge des angewandten Quarzpulvers dient als Maßstab für die Backfähigkeit der Kohle. Stark backende Kohlen bedurften z. B. auf 1 g 2,8 g Quarz, hatten also eine Backfähigkeit von 2,8, Sinterkohlen nur 0,8. Durch Wägung wird gleichzeitig die Koksausbeute bestimmt. — Diese Bestimmung der Backfähigkeit giebt jedoch keine, dem großen Arbeitsaufwand entsprechende Resultate, so daß sie kaum noch angewendet wird.

Schondorff [3]) bringt 2 g gepulverte Kohle in einem Platintiegel in eine Bunsen'sche Flamme von 20 cm Höhe und einem stündlichen Gasverbrauch von 150 Liter, und zwar in einem Abstande von 3 cm zwischen Brennermündung und Tiegelboden, bis keine Flamme mehr unter dem Tiegeldeckel heraustritt.

Muck [4]) empfiehlt dagegen folgende Regeln. Anwendung von nicht mehr als 1 g Probirgut, bei backender Kohle noch weniger, Flamme nicht unter 18 cm Höhe, dünnes Drahtdreieck, 3 cm Abstand des Tiegelbodens von der Brennermündung, Tiegel von guter Oberflächenbeschaffenheit und mehr als 30 mm Höhe bei stark blähenden Kohlen (gewöhnlich von 40 mm Höhe und 24 mm Bodendurchmesser), Erhitzen bis zum völligen Verschwinden jeglicher Flamme zwischen Deckel- und Tiegelrand. Zur Beurtheilung des mitunter wichtigen Aufblähungsgrades empfiehlt sich eine Wiederholung der Verkokung bei gelinderer Erhitzung.

Aus einer größeren Versuchsreihe über den Einfluß der Kohlenmenge und der Art des Erhitzens mögen nur folgende Versuche mit der bereits erwähnten Bantorfer Kohle folgen.

0,89 g Kohle im Platintiegel nach Schondorff rasch erhitzt gaben 67,17 Proc. eines blasigen, glänzenden Koks, 2,5 g in derselben Weise behandelt 67,77 Proc. Dieselbe Kohlenmenge mit einer anfangs kleineren Flamme erhitzt gab 69,70 Proc. Koks, im Porzellantiegel aber 80,54 Proc. eines das 3- bis 4 fache Volum der Kohle einnehmenden glänzenden Koks.

---

[1]) Dingl. 1868, 189, 128. — [2]) Dingl. 1870, 195, 71. — [3]) Ztschr. f. B. H. Sal. 1875, 137. — [4]) Chemische Beiträge S. 14.

Diese Versuche bestätigen lediglich die Erfahrungen von Stein[1]), nach denen entgegen der Angabe von Fleck[2]), welcher die Backfähigkeit der Kohle direct von dem verfügbaren Wasserstoff ableitet, die Elementarzusammensetzung der Kohle keinen Aufschluß über das Backen oder Nichtbacken, sowie die Koksausbeute der Kohle giebt. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich bedingt durch die verschiedene nähere Zusammensetzung der einzelnen Bestandtheile. Einfluß hat ferner die Art der Erhitzung, die Feuchtigkeit der Kohle u. s. f. Dasselbe wird durch Muck bestätigt. Um daher übereinstimmende Resultate zu erhalten, ist allerdings die peinlichste Einhaltung der angegebenen Umstände erforderlich. Als Dreieck für den Platintiegel ist ein solches aus Platindraht (Fig. 119) allen anderen vorzuziehen.

Fig. 119.

Schondorff hat nach den äußeren Merkmalen der freien Oberfläche des erhaltenen Kokskuchen die Kohle in fünf Gruppen getheilt, wie es das folgende Schema angiebt.

Die freie Oberfläche des im Platintiegel aus feingesiebtem Kohlenpulver hergestellten Kokskuchens zeigt sich:

rauh, feinsandig,	schwarz,	überall oder doch bis nahe zum Rande locker	1. Sandkohle,
		fest gesintert, nur in der Mitte locker . .	2. Gesinterte Sandkohle,
		überall fest gesintert	3. Sinterkohle,
	grau und fest, knospenartig aufbrechend		4. Backende Sinterkohle,
glatt, metallglänzend und fest			5. Backkohle.

Bei der Backkohle ist jedenfalls die Größe der Volumzunahme zu berücksichtigen.

Hilt theilt die Kohlen nach der Koksausbeute folgendermaßen ein:

Koksausbeute	
52,6 bis 55,5 Proc.	1. Gasreiche Sandkohlen,
55,5 „ 60,0 „	2. Gasreiche (junge) Sinterkohlen,
60,0 „ 66,6 „	3. Backende Gaskohlen,
66,6 „ 84,6 „	4. Backkohlen,
84,6 „ 90,0 „	5. Gasarme (alte) Sinterkohlen,
über 90,0 „	6. Magere anthracit. Kohlen.

Schondorff[3]) zeigt, daß diese Eintheilung nicht zutreffend ist, und daß auch die von Gruner[4]) nicht den thatsächlichen Verhältnissen entspricht, welcher folgende fünf Gruppen unterscheidet:

---

[1]) Steinkohlen Sachsens, S. 19. — [2]) Dingl. 1866, 180, 470; 181, 48. — [3]) Ztschr. f. B. H. S. 1875, 149. — [4]) Dingl. 1873, 208, 424.

	Koksausbeute	Beschaffenheit der Koks
1. Trockene Kohle mit langer Flamme	50 bis 60 Prc.	Pulverförmig oder gefrittet.
2. Fette Kohle mit langer Flamme (Gaskohle) . . .	60 „ 68 „	Geschmolzen, stark zerklüftet.
3. Eigentliche fette Kohle (Schmiedekohle)	68 „ 74 „	Geschmolzen, mittelmäßig compact.
4. Fette Kohle mit kurzer Flamme (Kokskohle) . .	74 „ 82 „	Geschmolzen, sehr compact, wenig zerklüftet.
5. Magere anthracitische Kohle	82 „ 90 „	Gefrittet oder Pulver.

Gruner[1]) empfiehlt die sogenannte Immediatanalyse, nach welcher die Koksausbeute, aschenfrei gerechnet, der Wassergehalt und aus der Differenz die Menge der flüchtigen Stoffe beim Verkoken bestimmt werden. Er glaubt, daß die Steinkohlen, welche den wenigsten Koks geben, auch die geringste Wärme beim Verbrennen entwickeln. Wie weit diese Angabe richtig ist, wird später bei der Theorie der Verbrennung besprochen werden.

In gleicher Weise wie die Koksausbeute der Steinkohlen wird auch das Kohlenausbringen für Torf und Holz bestimmt.

Bestimmung des Aschengehaltes. Diese Bestimmung wird meist in der Art ausgeführt, daß eine Probe des Brennstoffes so lange an der Luft erhitzt wird, bis alles Brennbare verschwunden ist. Nach Muck[2]) wird das die feingepulverte Kohle enthaltende Platingefäß etwa eine Stunde durch eine kleine Flamme und dann allmälig stärker erhitzt. Schneller kommt man zum Ziele, wenn man gleich anfangs die gepulverte Kohle mit Alkohol befeuchtet, denselben abbrennt, und diese Operation mehrmals wiederholt. Um den letzten Rest von Kohle rasch zu veraschen, fügt Muck abermals etwas Spiritus hinzu, brennt diesen ab und glüht einige Zeit weiter.

Dieses letztere Befeuchten und Abbrennen des bereits fast ganz veraschten Rückstandes beschleunigt allerdings die Verbrennung der letzten Kohlenreste, doch habe ich dabei einige Male einen geringen Verlust beobachtet, der wohl auf die Verflüchtigung von Alkalien oder Kalk mit den Spiritusdämpfen zurückzuführen ist; in der That zeigte die Alkoholflamme die bekannten Färbungen.

Kerl[3]) erhitzt den gepulverten Rückstand der Verkokungsprobe auf einem sogenannten Röstscherben unter der vom Luftzuge nicht zu stark getroffenen Muffel bis zum völligen Verschwinden der schwarzen Theile.

Regnault[4]) meint, ein Gehalt an Schwefeleisen mache das Verhältniß zwischen Asche und aschefreien Bestandtheilen der Kohlen unrichtig. Allerdings ist das aus dem Schwefelkies entstehende Eisenoxyd leichter, sind aber Carbonate zugegen, so wird dieser Fehler durch Bildung von Sulfat theilweise wieder ausgeglichen:

---

[1]) Dingl. 1874, 213, 70, 242, 430; 1876, 219, 178. — [2]) Steinkohlenasche, S. 12; Chemische Beiträge, S. 21. — [3]) Probirbuch, S. 138. — [4]) J. pr. Chem. 13, 73, 143; Dingl. 1838, 68, 201.

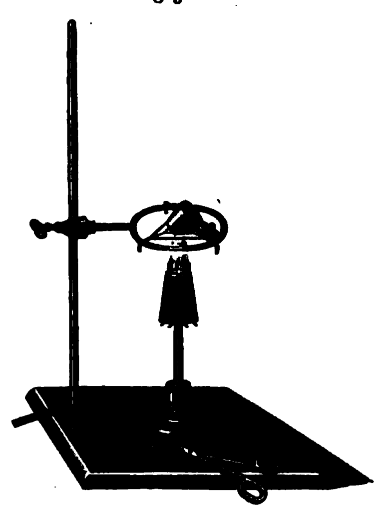
$$2\,FeS_2 + 15\,O + 4\,CaCO_3 = Fe_2O_3 + 4\,CaSO_4 + 4\,CO_2$$
$$240 \quad 240 \quad 400 \quad 160 \quad 544 \quad 176$$

Völlig genau wird allerdings der Gehalt einer Kohle an unorganischen Bestandtheilen wohl kaum bestimmt werden können, da viele derselben beim Veraschen verändert werden. So hat Mayençon[1]) in französischen Kohlen folgende Beimengungen gefunden:

1. Weißer Anflug: Chlorammonium, Bromammonium, Jodammonium, Arsenigesäure, zuweilen Chloraluminium, selten Chlorberyllium.
2. Rother Anflug: Realgar in verschiedenen Zuständen.
3. Orange Anflug: Gemische der unter 1. genannten Stoffe mit Realgar, Auripigment und octaëdrischem Schwefel.
4. Gelber Anflug: Die vorigen Mineralien aber ohne Realgar.
5. Schwarzer Anflug: Arsenik, Ammoniumarsenit, Ammoniumsulfarseniat, Sulfite und Hyposulfite.
6. In dünnen Platten: Ammoniak- und Kalialaun, Aluminiumsulfat, Eisensulfat, Ammoniumsulfat, Chlor-, Brom- und Jodammonium, verschiedene Arsenverbindungen, krystallisirter Arsenik, Bleiglanz.

Deutsche Kohlen enthalten oft eingesprengten Kalkspath, welcher in größeren Mengen, namentlich bei gleichzeitigem Vorhandensein von viel Schwefelkies, die Erzielung übereinstimmender Aschenbestimmungen dadurch sehr erschwert, daß je nach dem Grade der Erhitzung mehr oder weniger desselben in Aetzkalk oder Sulfat verwandelt wird. In weitaus den meisten Fällen bleibt aber der durch derartige Beimischungen veranlaßte Fehler in der Aschenbestimmung unter 1/4 Proc.

Fig. 120.

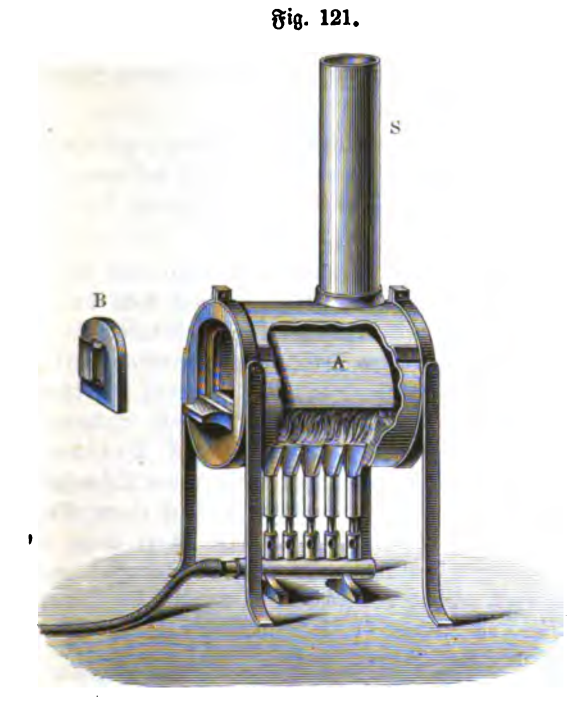


Zur Ausführung der Aschenbestimmung bringt man nun je nach dem erwarteten Aschengehalt 2 bis 5 g des zu untersuchenden Brennstoffes in die Platinschale oder einen schräg gelegten Platintiegel, wie Fig. 120 andeutet, erwärmt anfangs schwach, um das Backen der Kohle und das Verstäuben zu verhüten, und glüht dann stärker bis die Kohle völlig verbrannt ist, so daß zwei auf einander folgende Wägungen dasselbe Gewicht angeben. Hat man viele Bestimmungen auszuführen, so wird die Arbeit wesentlich dadurch erleichtert, daß man die in Schalen oder Tiegeln von Platin oder Porzellan befindlichen Proben in eine rothglühende Muffel stellt und von Zeit zu Zeit mit einem Platindraht umrührt,

[1]) Compt. rend. 86, 491.

bis eine völlige Verbrennung erreicht ist, was rascher der Fall ist, als auf offener Flamme. Sehr bequem ist namentlich der Gasmuffelofen von Wiesnegg (Fig. 121), dessen 150 mm lange, 100 mm breite und 65 mm hohe Muffel *A* aus Chamotte durch die fünfflammige Gaslampe mit verstellbaren flachen Aufsätzen leicht auf Rothglut gebracht werden kann. Der Deckel *B* wird nur lose vor die Muffel gesetzt. Die zwischen Muffel und Chamottemantel aufsteigenden Gase entweichen durch den Schornstein *S*.

Fig. 121.



Eine Schmelzprobe der Asche vor dem Löthrohr gibt Anhaltspunkte über das Verhalten derselben auf dem Rost. Wird eine Analyse derselben ausgeführt, so gibt die in bekannter Weise festgestellte Zusammensetzung derselben die erforderlichen Aufschlüsse.

Bestimmung des Schwefels. Nach Lassaigne [1]) kocht man die zu untersuchende Probe mit Königswasser und berechnet die Menge des vorhandenen Schwefelkieses aus der bei der Fällung mit Ammoniak erhaltenen Menge Eisenoxyd. Das Verfahren ist völlig unbrauchbar.

Fleck [2]) übergießt die feingeriebene Kohle in einem Kolben mit einer Lösung von dichromsaurem Kalium, fügt unter fortwährendem Erwärmen bis nahe zum Kochen so lange Salpetersäure hinzu, bis die Kohle völlig oxydirt ist, filtrirt, fällt mit Chlorbaryum und berechnet den Schwefel aus dem erhaltenen schwefelsauren Baryum.

Stein [3]) fand bereits, daß hierbei mit dem schwefelsauren Baryum stets Chromoxyd niederfällt. Er kocht daher die Probe mit Salzsäure und chlorsaurem

[1]) Dingl. 1843, 87, 302. — [2]) Steinkohlen Deutschlands, S. 214. — [3]) Steinkohlen Sachsens S. 9.

Kalium bis zur völligen Oxydation, dampft die überschüssige Säure größtentheils ab und fällt mit Chlorbaryum.

Pearson[1]) übergießt die auf Schwefel zu prüfende Probe in einer bedeckten Schale mit reiner Salpetersäure und fügt allmälig chlorsaures Kalium bis zur völligen Oxydation hinzu. Crossley[2]) kocht mit Salpetersäure unter Zusatz von etwas salpetersaurem Kalium.

Carius[3]) schmilzt die auf Schwefel zu untersuchende Probe mit Salpetersäure von 1,5 specif. Gewicht in ein Glasrohr ein, erhitzt und bestimmt die gebildete Schwefelsäure in bekannter Weise. Das Verfahren ist genau, für Brennstoffe aber zu lästig.

Calvert[4]) kocht die gepulverte Kohle 20 Stunden lang mit einer schwachen Sodalösung um die Schwefelsäure auszuziehen, wäscht aus und kocht dann mit Königswasser. Beim Kochen der dadurch erhaltenen Lösung ist darauf zu sehen, daß sich kein basisch schwefelsaures Eisenoxyd ausscheidet, andererseits darf aber auch nicht zu viel Salpetersäure zurückbleiben, da sonst ein Theil des schwefelsauren Baryums nicht ausfallen würde. Beim Schmelzen mit Salpeter hat Calvert stets zu wenig Schwefelsäure gefunden. Dagegen zeigt A. Bradbury[5]), daß der im Koks enthaltene Schwefel nur zum Theil in Form von Schwefelsäure und Schwefeleisen in demselben sich findet, zum größeren Theil ist er mit Kohlenstoff verbunden im Koks anzunehmen und in dieser Form ist er weder durch Salzsäure, noch durch Salpetersäure demselben zu entziehen und gelingt seine vollständige Bestimmung nicht durch wiederholtes Kochen des aufs Feinste gepulverten Koks mit Königswasser und Kaliumchlorat, da dieser nach der Behandlung mit dem Säuregemisch noch immer etwas Schwefel enthält.

Nach Beudant, Daguin und Rivot[6]) wird die Probe mit reiner Kalilauge erwärmt, mit 2 Volumen Wasser versetzt und dann wird Chlor eingeleitet. Nun wird angesäuert, der Chlorüberschuß durch Erwärmen entfernt und mit Chlorbaryum gefällt. Auch dieses Verfahren eignet sich nicht für Brennstoffe.

Kolbe[7]) erhitzt die auf Schwefel zu prüfende Substanz mit chlorsaurem Kalium und Soda, Debus[8]) mit chromsaurem Kalium und Soda, Russel[9]) mit Quecksilberoxyd und Soda; die gebildete Schwefelsäure wird mit Chlorbaryum gefällt.

Eschka[10]) erhitzt eine Stunde lang 1 g der zu untersuchenden Kohle mit 1 g Magnesiumoxyd und 0,5 g Soda in einem schief liegenden Platintiegel bei Luftzutritt unter öfterem Umrühren, reibt den erkalteten Rückstand mit 1 g salpetersaurem Ammonium zusammen, glüht mit aufgelegtem Deckel 5 bis 10 Minuten, löst in 200 ccm Wasser, verdampft auf 150 ccm, filtrirt, versetzt mit

---

[1]) Zeitschr. anal. Ch. 1870, 271. — [2]) Das. 1863, 95. — [3]) Annal. d. Chem. 136, 129. — [4]) Dingl. 1871, 202, 103. — [5]) Chem. News 38, 147. — [6]) Journ. pr. Ch. 61, 135. — [7]) Suppl. z. Handwörterb. d. Chem. S. 205. — [8]) Annal. d. Chem. 76, 90. — [9]) Journ. pr. Chem. 64, 230. — [10]) Dingl. 1874, 212, 403.

Salzsäure und fällt mit Chlorbaryum. Fresenius [1]) löst die Masse, statt sie mit salpetersaurem Ammonium zu glühen, in bromhaltiger Salzsäure.

In gleicher Weise mischt Stock [2]) die Kohle mit gleichen Gewichtstheilen Kalkhydrat, trocknet und erhitzt unter Umrühren bis zur Rothglut bis alle Kohle verbrannt ist. Nun wird salpetersaures Ammonium und Wasser zugesetzt, getrocknet, geglüht, in Salzsäure gelöst und mit Chlorbaryum gefällt.

Dunnington [3]) mischt die zu untersuchende Kohle mit 15 Thln. eines geschmolzenen Gemisches von 202 Thln. Salpeter und 53 Thln. kohlensaurem Natrium, dann mit 15 Thln. Magnesiumcarbonat, schmilzt im bedeckten Platintiegel, zieht die Schmelze mit Wasser aus, säuert mit Salzsäure an und fällt mit Chlorbaryum. Nach Kerl [4]) mischt man dagegen 1 g mit 16 g Chlornatrium, 8 g Salpeter und 4 g kohlensaures Kalium, löst in Wasser, säuert mit Salzsäure an, verdampft zur Abscheidung der Kieselsäure zur Trockne, löst wieder und fällt mit Chlorbaryum.

Wenn auch bei diesen letzteren Methoden durch die verschiedenen Zusätze die Heftigkeit der Oxydation erheblich gemäßigt ist, so treten doch sehr leicht Verluste ein. Ueberdem gestatten die bisher besprochenen Verfahren keine Trennung des sogenannten schädlichen Schwefels, d. h. desjenigen, der bei der Verbrennung als Schwefligsäure entweicht, von demjenigen, welcher in der Asche zurückbleibt. Um dieses zu erreichen muß der Schwefel der gasförmigen Verbrennungsproducte bestimmt werden.

Rollet [5]) führt zu diesem Zweck den Schwefel zunächst in Schwefelwasserstoff über. Der in einem Gefäße *A* (Fig. 122, a. f. S.) aus reinem Zink und verdünnter Schwefelsäure entwickelte Wasserstoff streicht durch drei Waschflaschen. Die erste *B* derselben enthält eine Auflösung von essigsaurem Blei, die zweite *C* eine Auflösung von Silbernitrat, jedoch so verdünnt, daß ein Niederschlagen des überschüssigen Silbers als metallisches Silber vermieden wird; die dritte Flasche *D* enthält reines Wasser, um die aus der zweiten Flasche mitgerissenen Substanzen zurückzuhalten. Die zu verwendende Kohlensäure wird dargestellt aus kohlensaurem Kalk der Flasche *E* und sehr verdünnter Salzsäure der Flasche *F*, die jedoch möglichst frei von Schwefel sein muß. Sie wird im richtigen Verhältniß in der zweiten Waschflasche *C* mit dem Wasserstoff gemischt. Das Gasgemisch wird nun durch Glasröhren, welche mit nicht vulkanisirten Kautschukschläuchen verbunden sind, in eine Porcellanröhre *G* von 25 mm lichter Weite, in deren Innerem sich die zu untersuchende Substanz befindet, geleitet. Die Porzellanröhre ist mit zwei einfach durchbohrten Korkpfropfen verschlossen und verkittet. Der Ofen besteht, wie der Querschnitt Fig. 123 zeigt, aus zwei ausgehauenen und mit Kupferblech belegten feuerfesten Steinen *S*, welche von zwei verschiebbaren kupfernen Stativen getragen werden, um die Höhe des Ganzen

---

[1]) Zeitschr. anal. Ch. 1878, 497. — [2]) Bolley, Untersuchungen S. 534. — [3]) Americ. Chem. 1876, 83. — [4]) Probirbuch S. 132. — [5]) Dingl. 1879, 233, 125.

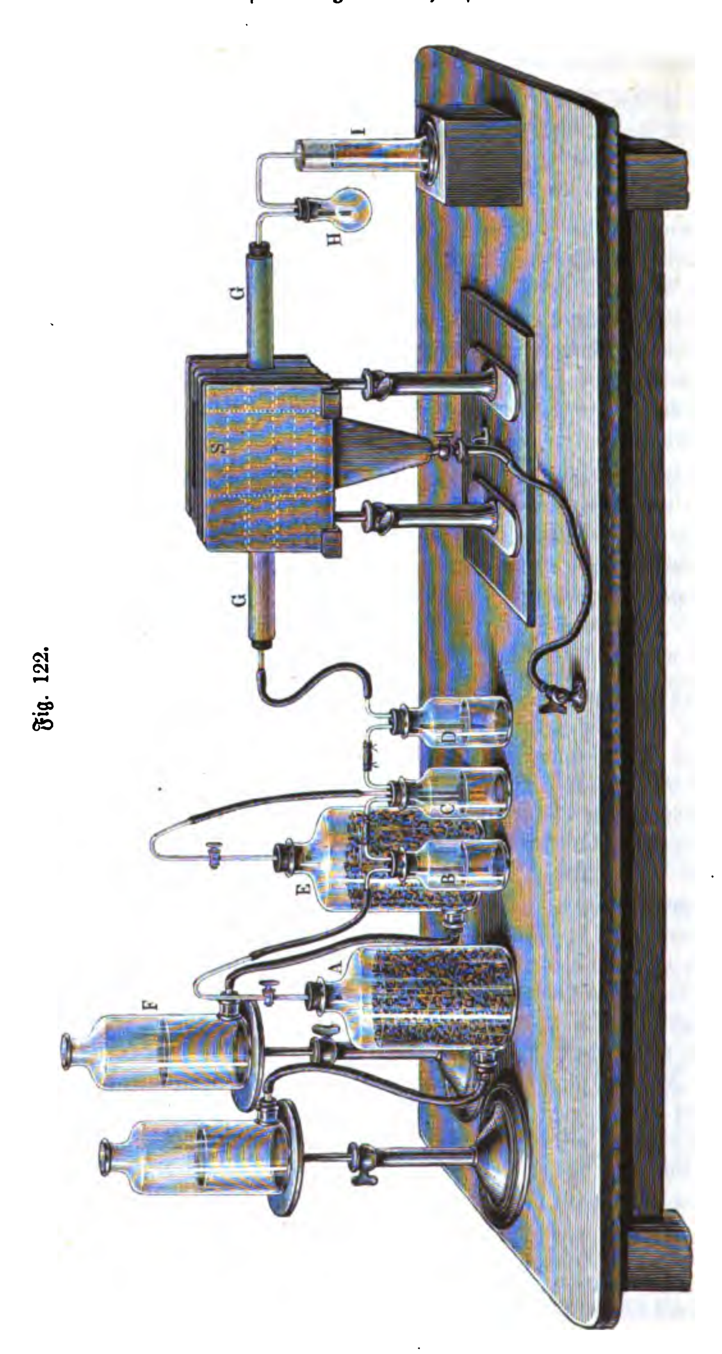
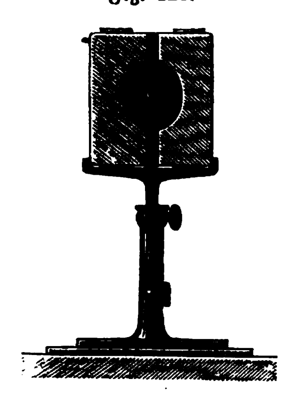


Fig. 122.

reguliren zu können. Das Erhitzen geschieht durch ein Fächergebläse mit Leuchtgas. Die Verbrennungsgase streichen zuerst durch einen kleinen Ballon *H*, wo sich der größte Theil des Wasserdampfes absetzt, der sich während der Operation gebildet hat und gehen von dort durch eine Lösung von Silbernitrat in den Cylinder *I*, wo sich der in der zu untersuchenden Substanz vorhanden gewesene Schwefel als Schwefelsilber niederschlägt. Die Silberlösung, welche sehr häufig gebraucht werden kann, wird dargestellt durch Auflösung von 16 bis 18 g Silbernitrat in 1 l Wasser und nachherige Neutralisation mit Ammoniak; derselben wird dann noch wieder 1 bis 2 Proc. Salpetersäure zugesetzt, um sie schwach sauer zu machen.

Fig. 123.



Bei der Ausführung der Bestimmung werden etwa 0,5 g der zu untersuchenden Kohlen oder Koks in einem Platinschiffchen in das Porzellanrohr gebracht. Dann leitet man durch entsprechende Hahnstellung ein Gemisch von 3 Thln. Wasserstoff und 1 Thl. Kohlensäure durch das Rohr und erhitzt zum Glühen. Ist nach etwa 2 Stunden die Kohle völlig verbrannt, so filtrirt man das gebildete Schwefelsilber ab und berechnet daraus den Schwefelgehalt. Da die bei der Verbrennung sich bildenden theerigen Bestandtheile, welche sich in dem kälteren Theil der Röhre ansetzen, Schwefel zurückhalten, so muß darauf Bedacht genommen werden, den kalten Theil der Röhre so kurz wie möglich zu halten; gleichzeitig wird derselbe mit Porzellanstücken ausgefüllt, um die theerigen Bestandtheile zurückzuhalten. Am Ende der Operation, d. h. wenn kein Kohlenstoff mehr in dem Schiffchen vorhanden ist, erhitzt man die Röhre nach und nach stärker, um die theerigen Bestandtheile zu verbrennen oder zu zersetzen.

Vorzuziehen ist die Verbrennung im Sauerstoff. Warren[1]) läßt die hierbei gebildete Schwefligsäure von einer Schicht Bleisuperoxyd absorbiren, Brügelmann[2]) von einer Schicht Kalk, in welchem dann die Schwefelsäure bestimmt wird. Mixter[3]) verbrennt in bromhaltigem Sauerstoff; sein Apparat ist aber unbequem. Besser ist der Vorschlag von Sauer[4]). Zur Bestimmung des Schwefels in Koks wird die Probe mit einem Schiffchen *b* (Fig. 124, a. f. S.) in ein Verbrennungsrohr gebracht und dieses erhitzt während Sauerstoff hindurchgeleitet wird. Die Verbrennungsgase streichen durch den Absorptionsapparat *c*, welcher bromhaltige Salzsäure erhält. Die dadurch gebildete Schwefelsäure wird mit Chlorbaryum gefällt.

Für flüchtige Brennstoffe soll der in Fig. 125 (a. f. S.) dargestellte Apparat verwendet werden. Zunächst wird die etwas verengte Stelle *b* des Verbrennungsrohres zum starken Glühen erhitzt, dann durch das Rohr *x* Sauerstoff zugeführt, die zu

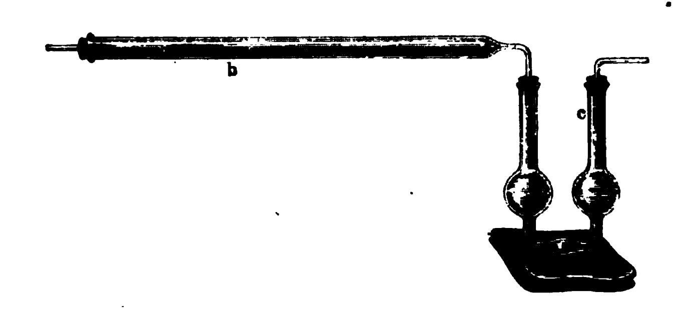
---

[1]) Zeitschr. anal. Ch. 1866 *169. — [2]) Das. 1876, 1 und * 76. — [3]) Das. 1873, *212. — [4]) Das. 1873, *32 u. 178.

untersuchende Probe im Schiffchen *d* erhitzt, so daß die entwickelten Gase bei *b* verbrennen. Die gebildeten Verbrennungsgase streichen durch die bromhaltige Salzsäure des Absorptionsapparates *y*. Schließlich führt man durch das Rohr *z* von *a* aus einen Strom Sauerstoff ein um die Gase zu verdrängen und den im Schiffchen gebliebenen Rückstand zu verbrennen.

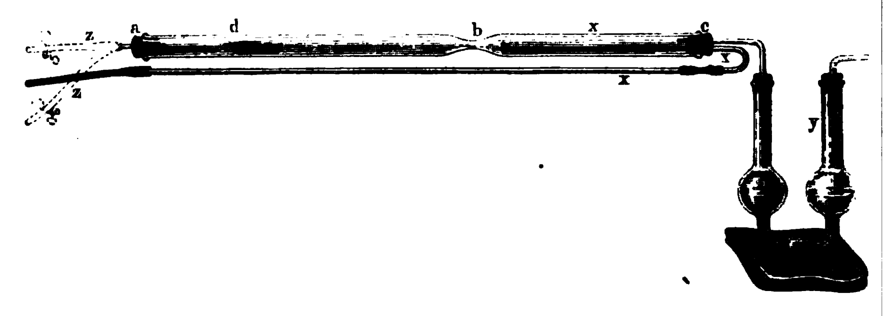
Diese Methode ist gut, doch wende ich ausschließlich den in Fig. 124 abgebildeten Apparat an, bringe jedoch in den vorderen Theil des Rohres vor das

Fig. 124.



Schiffchen *b* eine etwa 8 cm lange Schicht mit etwas Platinschwarz gemischten Asbest, der durch zwei in dünnes Platinblech gehüllte Asbestpfropfen eingeschlossen ist. Etwa nicht völlig verbrannte theerige Produkte werden durch Vermittelung dieser Schicht von glühendem Platinasbest leicht vollständig oxydirt, so daß bei einiger Vorsicht Verluste völlig ausgeschlossen sind. Der vordere frei gebliebene Theil der Röhre wird nach jedem Versuch mit wenig Wasser ausgespült, dieses

Fig. 125.



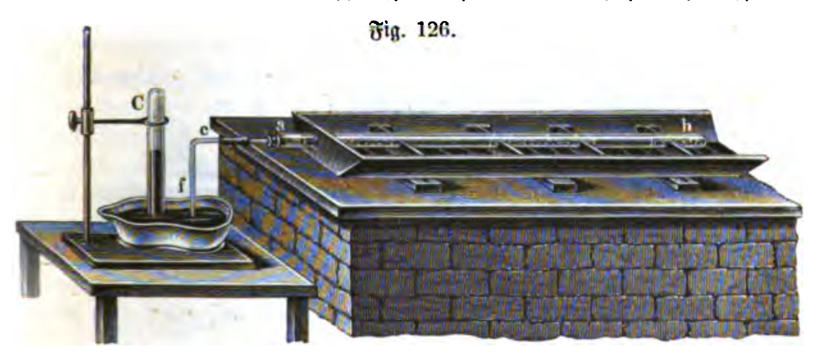
mit der bromhaltigen Salzsäure gemischt und die gebildete Schwefelsäure mit Chlorbaryum gefällt. 233 Thle. schwefelsaures Baryum entsprechen 32 Thle. Schwefel.

Nach Beendigung des Versuches wird der durchbohrte Stopfen am Ende des Rohres gelöst, das Schiffchen herausgenommen und die zurückgebliebene Asche gewogen. Man erhält damit eine Controle der ersten Aschenbestimmung. Ferner bestimmt man den Gehalt dieser Asche an sogenanntem unschädlichen Schwefel,

welcher fast ausschließlich als Schwefelsäure darin enthalten ist. Beide Bestimmungen zusammen geben den Gesammtschwefel.

Bestimmung des Stickstoffes. Nach Dumas bringt man in die 70 bis 80 cm lange Verbrennungsröhre *ab* (Fig. 126) eine 12 bis 15 cm lange Schicht Natriumbicarbonat, dann 4 cm Kupferoxyd, darauf das innige Gemenge von 0,5 bis 1 g des Brennstoffes mit Kupferoxyd, nochmals eine Schicht Kupferoxyd und

Fig. 126.



schließlich eine etwa 15 cm lange Schicht von Kupferdrehspänen. Nun verbindet man die im Verbrennungsofen liegende Röhre mit dem Gasleitungsrohre *cf*, und erhitzt das letzte Ende *b* zum Glühen, so daß die durch Zersetzung des Bicarbonates frei gewordene Kohlensäure die atmosphärische Luft völlig verdrängt. Ist dieses geschehen, werden somit die entweichenden Gasblasen von Kalilauge völlig absorbirt, so unterbricht man die weitere Zersetzung des Bicarbonates, bringt über das Gasentwickelungsrohr den getheilten Glascylinder *C*, welcher mit Quecksilber und einigen Cubikcentimetern Kalilauge gefüllt ist und erhitzt nun das Verbrennungsrohr von vorn beginnend und langsam nach hinten vorschreitend. Ist die Verbrennung beendet, so glüht man auch den Rest des Bicarbonates, um den sämmtlichen Stickstoff aus der Röhre in den Meßcylinder überzutreiben. Nachdem die Kalilauge alle mit dem Stickstoff vermischte Kohlensäure absorbirt hat, das Volum des in dem Meßcylinder befindlichen Gases nach mehrstündigem Stehen sich nicht mehr verringert, hebt man den unten verschlossenen Cylinder heraus, was passend durch Unterschiebung eines Schälchens geschehen kann, und taucht ihn so tief in einen weiten Cylinder mit Wasser, daß dieses nach dem Herunterfallen des Quecksilbers und der Kalilauge außen und innen gleich hoch steht und liest unter Berücksichtigung der Temperatur die Menge des erhaltenen Stickstoffes ab (s. Gasanalyse).

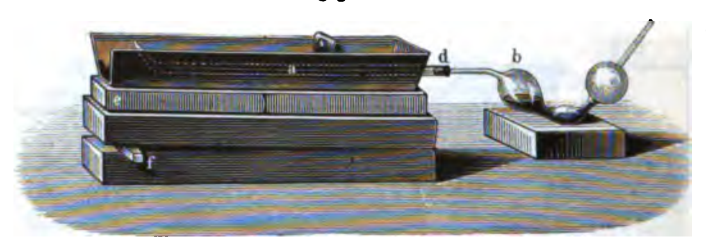
Statt des in Fig. 126 und 127 abgebildeten Liebig'schen Kohlenofen wird man überall, wo Leuchtgas zur Hand ist, einen der in Fig. 129 und 135 angegebenen Verbrennungsofen anwenden.

Dieses Verfahren ist zwar mehrfach abgeändert [1]), es ist aber immer etwas weniger bequem, als das folgende von Varrentrapp und Will, welches bei

[1]) Fresenius, Quantitative Analyse, 6. Auflage Bd. 2, S. 57.

gleicher Genauigkeit daher meist vorgezogen wird. Man bringt in das hinten zur Spitze ausgezogene Verbrennungsrohr *a* (Fig. 127) erst etwas stickstofffreien Natronkalk, dann das Gemisch von Natronkalk mit etwa 1 g des fein gepulverten Brennstoffes, füllt das Rohr bis auf etwa 4 cm mit reinem Natronkalk nach und setzt einen lockeren Asbestpfropf vor, damit kein Kalk durch die entwickelten Gase mitgerissen wird. Nun verbindet man mit dem in einem Verbrennungsofen liegenden Rohr mittels eines gut schließenden Korkes *d* das Salzsäure von

Fig. 127.



1,07 specif. Gew. enthaltende Absorptionsgefäß *b*, und erhitzt das Rohr von vorn anfangend und langsam nach hinten fortschreitend. Ist die Verbrennung beendigt, hört somit die Gasentwickelung auf, so bricht man die Spitze des Verbrennungsrohres ab und saugt etwas Luft durch den Apparat, um somit auch den letzten Rest des gebildeten Ammoniaks in die Säure zu führen. Jetzt entleert man die saure Flüssigkeit in eine gewogene Schale, verdampft vorsichtig zur Trockne und wiegt den erhaltenen Salmiak; 53,5 mg desselben entsprechen 14 mg Stickstoff. Sicherer ist es allerdings, die noch nicht völlig zur Trockne verdampfte Flüssigkeit mit überschüssigem Platinchlorid zu versetzen, völlig zur Trockne zu verdampfen, mit einem Gemisch von 2 Thln. Alkohol und 1 Thl. Aether auszuziehen und aus dem so erhaltenen Platinsalmiak den Stickstoff zu berechnen.

Fig. 128.



Für alle technischen Zwecke ist es vorzuziehen, das Ammoniak nach Peligot alkalimetrisch zu bestimmen. Zu diesem Zwecke füllt man in den Absorptionsapparat (Fig. 128), der mittels des Glasrohres *a b* mit dem Verbrennungsrohr verbunden ist, 50 ccm Zehntelnormalsäure. Ist die Verbrennung beendigt, so titrirt man mittels Zehntelnormalalkali zurück. Jeder Cubikcentimeter Alkali, der jetzt weniger gebraucht wird, entspricht 1,4 mg Stickstoff. Da bei diesen Bestimmungen nicht selten stark gefärbte Stoffe mit übergehen, welche die Erkennung der Endreaction sehr erschweren, so empfiehlt es sich, wie schon Stein[1]) vorgeschlagen, zwischen Verbrennungsrohr und Absorptionsapparat ein Kölbchen mit

[1]) Steinkohlen Sachsens S. 8.

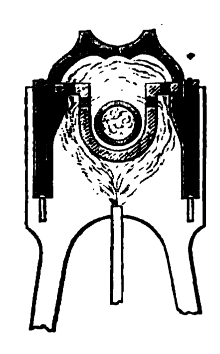
etwas Kalilauge einzuschalten. Nach Beendigung der Verbrennung saugt man langsam Luft durch den Apparat und erhitzt das Kölbchen zum Sieden, so daß nunmehr das reine Ammoniak von der Säure in dem Absorptionsapparate aufgenommen wird.

Hat man chlorfreien Natronkalk angewendet, so kann man durch Ausziehen des Rückstandes mit Wasser, Ansäuern mit Salpetersäure und Fällen mit Silbernitrat auch den Chlorgehalt des Brennstoffes bestimmen.

Bestimmung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs. Cairns[1]) bestimmt nach dem Verfahren von Elliot[2]) den Kohlenstoffgehalt der Kohlen durch Oxydation mit Chromsäure und Schwefelsäure und Absorption der Kohlensäure durch Natronkalk. Das Verfahren ist in keiner Beziehung empfehlenswerth. Jedenfalls ist die Verbrennung der Probe im Sauerstoffstrom vorzuziehen.

Glaser[3]) empfiehlt hierfür den in Fig. 129 (a. f. S.) abgebildeten Apparat. Zwei eiserne Träger, die auf einer eisernen Platte zu Enden einer Anzahl Gasbrenner angeschraubt sind, tragen zwei parallellaufende unter sich verbundene Eisenschienen, senkrecht über diesen sind zwei Eisendrähte in die Träger eingezogen. Die oben und unten mit Rinnen versehenen Thonplatten können leicht zwischen Schienen und Draht eingezogen werden, und dienen als Träger für die Eisenstücke, welche die Rinne zur Aufnahme des Verbrennungsrohres bilden. Die durchlöcherten Thondeckel concentriren durch ihre eigenthümliche Form die Hitze auf das einliegende Glasrohr, wie der Durchschnitt (Fig. 130) andeutet. Die Verbrennungsröhre (Fig. 131 a. S. 125) enthält zwischen zwei Kupferdrahtnetzen bei a und b gekörntes Kupferoxyd, von b bis c eine oxydirte Kupferspirale, von a bis d das Platinschiffchen mit der Kohlenprobe, endlich bei d eine an einem Draht befestigte metallische Kupferspirale. Nach dem Einlegen der Röhre in den Ofen verbindet man durch Gummistopfen den vorderen Theil des Rohres mit einem Chlorcalciumrohr, den hinteren mit den Reinigungs- und Trockenapparaten. Von diesen enthält das Waschgefäß a (Fig. 129), welches durch den Schlauch d mit dem Sauerstoffgasometer, und das Gefäß a_1, welches durch den Schlauch l mit dem mit atmosphärischer Luft gefüllten Gasometer verbunden ist, Kalilauge, die Gefäße b und b_1 Natronkalk und obenauf Chlorcalcium. Das Chlorcalciumrohr cc führt durch das Glasrohr g und den Schlauch f sowohl Sauerstoff als gereinigte Luft zum Verbrennungsrohr. Vor Ausführung einer Analyse heizt man die Röhre im Verbrennungsofen an und läßt dann im trocknen Luftstrom erkalten. Die zu untersuchende Probe wird hierauf im Platinschiffchen eingeführt, und der vordere Theil der Röhre mit den gewogenen Absorptionsapparaten verbunden. Das

Fig. 130.



1) Dingl. 1872, 203, 470. — 2) Das. 1870, 195, 91. — 3) Zeitschr. anal. Chem. 1870, *393.

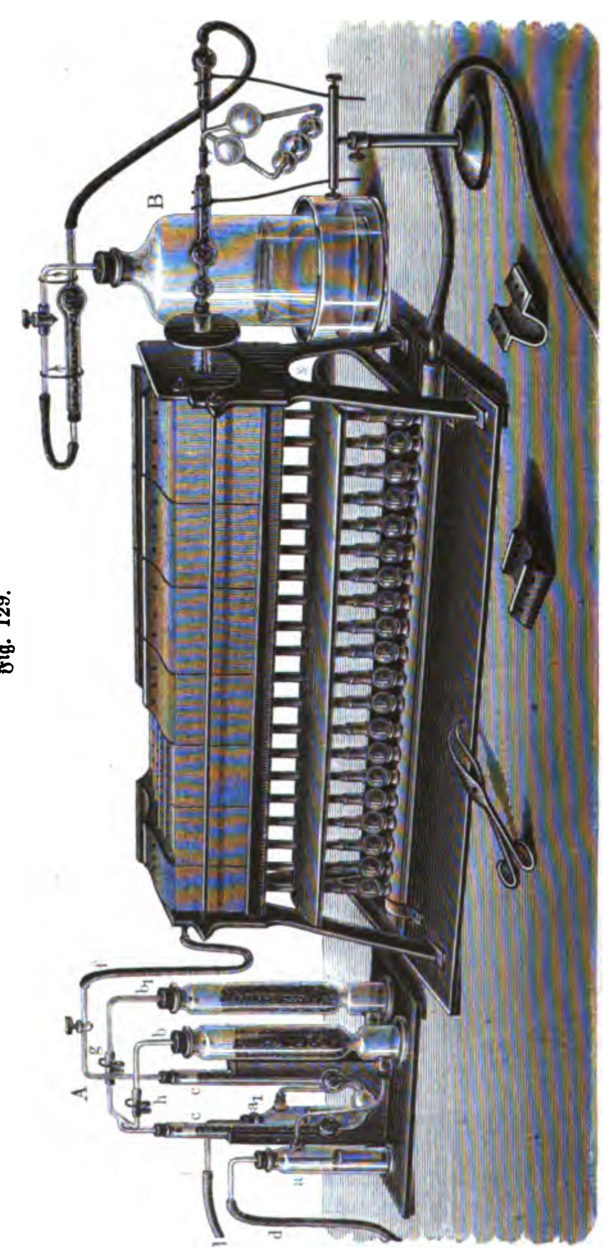
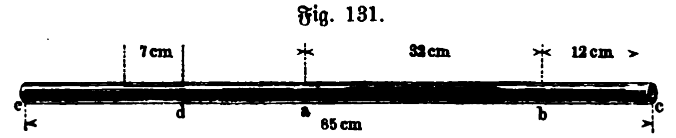


Fig. 129.

Kalischutzrohr des Liebig'schen Kohlensäureapparates steht mit dem Aspirator *B* in Verbindung. Nachdem der Glashahn des Trockenapparates geschlossen ist, wird der Hahn des Aspirators geöffnet und der vordere Theil des Verbrennungsrohres sowie die Kupferspirale am hinteren Ende zum schwachen Rothglühen erhitzt; hierauf öffnet man den Hahn des Trockenapparates und läßt einen sehr schwachen Sauerstoffstrom eintreten, der indeß vollkommen von der Kupferspirale in *de* aufgenommen wird und bloß verhindern soll, daß in diesen Theil der Röhre Verbrennungsprodukte gelangen. Die Erhitzung der Substanz geschieht nun je nach

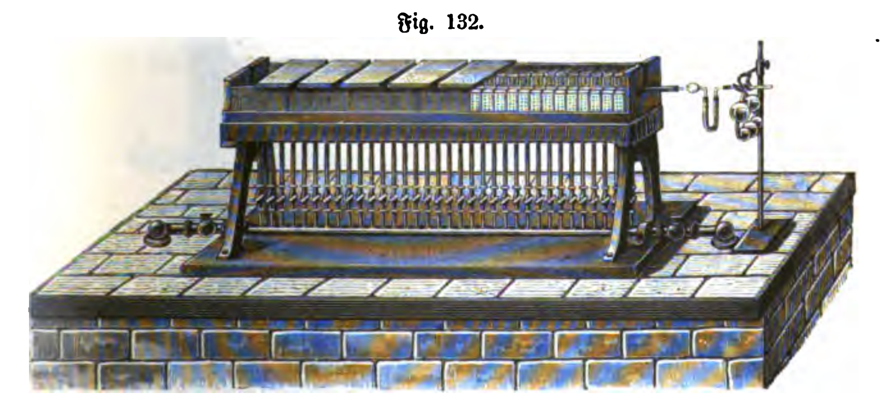
Fig. 131.



dem Grade der Flüchtigkeit entweder direct oder durch strahlende Wärme, wobei die Temperatur durch Auflegen oder Abnehmen des Deckels leicht geregelt werden kann. Wenn sich schließlich nur noch Kohle im Platinschiffchen befindet, so läßt man die Kupferspirale erkalten und einen stärkeren Sauerstoffstrom eintreten, der die Verbrennung vollendet und das reducirte Kupfer wieder in Oxyd verwandelt. Diese Oxydation wird im Luftstrome vollendet, dann werden die Glashähne geschlossen, die Absorptionsapparate abgenommen und gewogen.

Statt dieses Ofens kann man auch den allerdings weniger bequemen Holzkohlenofen, Fig. 127, verwenden, oder aber den in jeder Beziehung vorzüglichen Ofen von A. W. Hofmann [1]), welcher mit seinen Thonbrennern in Fig. 132 abgebildet

Fig. 132.



ist. Ebenso nimmt man mit Vortheil statt des wagerechten Chlorcalciumrohres das Uförmige *ab* (Fig. 133, a. f. S.), oder aber die von Volhard empfohlene Form Fig. 134.

Von Kopfer [2]) wurde vorgeschlagen, die organischen Stoffe in einem kurzen, theilweise mit Platinasbest gefüllten Rohr mittels Sauerstoffgas zu verbrennen.

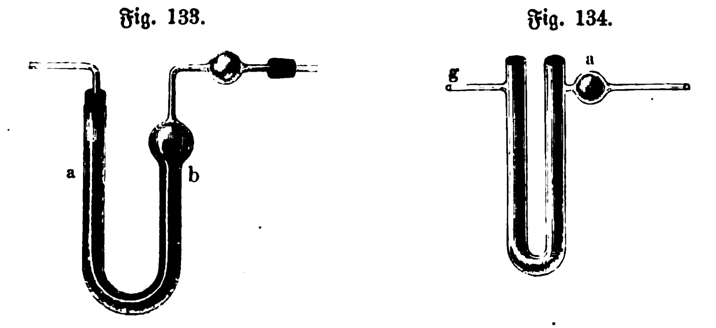
---

[1]) Annal. d. Chem. 117, *39. — [2]) Zeitschr. anal. Chem. 1878 *1.

Für die Untersuchung von Brennstoffen ziehe ich dagegen den in den Figuren 135 und 136 in Vorderansicht und Schnitt in $^1/_3$ natürlicher Größe abgebildeten Apparat vor.

Die beiden Seitenbleche *b* und *p* sind unten mit der Bodenplatte, oben durch zwei starke Drähte *u* mit einander verbunden, gegen welche sich die Thonstücke *s* oben anlegen, welche unten in der auf beiden Seiten angebrachten Rinne *r*

Fig. 133. Fig. 134.



stehen. Dadurch werden in bekannter Weise die Flammen der untergestellten Brenner, welche durch die beiderseits angebrachten Bleche *a* gegen Zugluft geschützt

Fig. 135.



sind, gezwungen, das in der offenen, halbrunden Blechrinne *O* liegende Verbrennungsrohr völlig zu umgeben. In der Mitte ist die Rinne durch eine einfache Unterlage gestützt. Das an beiden Seiten offene Verbrennungsrohr (Fig. 137) enthält zwischen den beiden, in sehr dünnes Platinblech eingehüllten Asbestpfropfen *a* eine Schicht *n* körniges Kupferoxyd. Nach dem Einschieben des Platinschiff-

chens *m* mit der zu untersuchenden Probe wird das eine Ende *u* mit dem Sauerstoffgasometer, das andere *w* aber direct mit dem Chlorcalciumrohr verbunden.

Vor Anfang einer Versuchsreihe legt man das Verbrennungsrohr in die Blechrinne *O*, stellt die feuerfesten Steine oben gegen die Stangen *u* (Fig. 135) und erhitzt die Kupferoxydschicht durch die mit 3 oder 4 Flachbrennern versehene Lampe *B* (vor welcher in der Abbildung das Schutzblech *a* der Deutlichkeit wegen fortgelassen ist) zum Glühen, während für die andere Hälfte des Rohres ein einfacher Bunsenbrenner *A* genügt. Man leitet etwa 10 Minuten lang einen Strom atmosphärischer Luft, welcher durch eine Flasche mit Kalilauge und eine solche mit concentrirter Schwefelsäure gegangen ist, durch das Rohr und läßt es dann in diesem Luftstrom erkalten. Nun wird der Stopfen *u* gelöst, und die unter Luftabschluß (S. 108) bei 100° getrocknete Probe (etwa 300 mg) mit dem Platinschiffchen eingeschoben, der Stopfen sofort wieder eingesetzt und auf der anderen Seite das Chlorcalciumrohr eingeschoben. Mit dem Chlorcalciumrohr verbindet man noch ein kleines U-rohr, welches Glasperlen und einige Tropfen Schwefelsäure enthält, mit dem Chlorcalciumrohr zusammen gewogen wird und bestimmt ist, die letzten Spuren Wasser zurückzuhalten. Dann folgt der Liebig'sche Kaliapparat (Fig. 138), welcher soweit die Schattirung reicht, mit reiner Kalilauge von 1,3 bis 1,35 specif. Gew. gefüllt ist, und an dem Ende *b* ein Schwefelsäure-

Fig. 136.

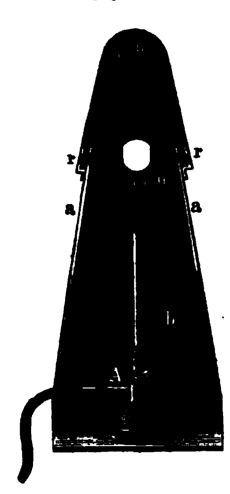
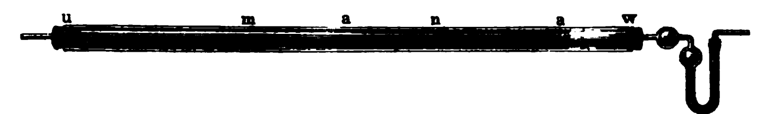


Fig. 137.

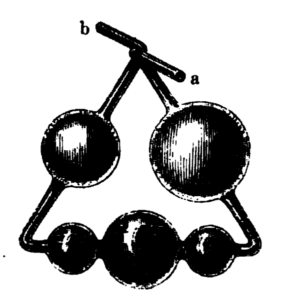


röhrchen trägt, welches wie das oben erwähnte die Feuchtigkeit zurückzuhalten hat; es wird mit dem Kaliapparate zusammen gewogen. Schließlich folgt ein nicht gewogenes Rohr mit Chlorcalcium oder etwas Schwefelsäure, um zu verhüten, daß von dem folgenden Luftsauger (als welchen man natürlich jede beliebige mit Heber versehene Flasche verwenden kann) Feuchtigkeit zu den gewogenen Röhren bringen kann.

Man bringt nun die Kupferoxydschicht mittels der Lampe *B* zur Rothglut, läßt dann einen langsamen Strom Sauerstoff in das Verbrennungsrohr eintreten, welcher eine Flasche mit Kalilauge und eine solche mit concentrirter Schwefelsäure durchstrichen hat, und erhitzt das Platinschiffchen mittels der einfachen Bunsenflamme, vom hinteren Ende anfangend und nach vorn allmälig vorschreitend bis alles Brennbare verschwunden ist. Nun sperrt man den Sauerstoffstrom ab und läßt mit Kali und Schwefelsäure behandelte Luft eintreten,

nimmt nach einigen Minuten Chlorcalcium- und Kaliapparat ab und wiegt. Inzwischen löscht man die Flammen und läßt das Rohr in demselben Luftstrom abkühlen. Nur sehr schwer verbrennliche Kohlen erfordern schließlich statt des einfachen Bunsenbrenners einen gewöhnlichen Dreibrenner zum Erhitzen des Platinschiffchens.

Fig. 138.



Hat man nach Beendigung der Verbrennung die Absorptionsröhren und die im Schiffchen zurückgebliebene Asche gewogen, so ist der Apparat sofort zur zweiten Analyse fertig. Ich glaube daher den Ofen als sehr handlich, billig und sparsam im Gasverbrauch empfehlen zu dürfen.

Es ist noch zu bemerken, daß das Vorlegen eines Silberbleches oder einer Kupferspirale wegen des geringen Chlor- und Stickstoffgehaltes überflüssig ist. Bedenklicher ist der Schwefelgehalt der Steinkohlen, welcher als Schwefligsäure und Schwefelsäure entweichen und das Chlorcalcium und selbst die Kalilauge verunreinigen und beschweren soll. Nach meinen Erfahrungen ist ein solcher Fehler nicht zu befürchten, namentlich wenn man den vorderen Theil der Kupferoxydschicht nur zur schwachen Rothglut erhitzt. Bei der Verbrennung von 300 mg einer Kohle mit 2,6 Proc. schädlichem Schwefel waren z. B. die aus dem Verbrennungsrohre, welches bereits zu wenigstens 20 Kohlenanalysen gedient hatte, entweichenden Gase völlig frei von derartigen Schwefelverbindungen, diese somit vom Kupferoxyd zurückgehalten. Es genügt daher nach 20 oder 30 Verbrennungen neues Kupferoxyd zu nehmen, oder doch das alte durch heftiges Glühen im hessischen Tiegel, etwa unter Mitwirkung von kohlensaurem Ammoniak, wieder brauchbar zu machen. Nur bei stark schwefelhaltigen Kohlen, z. B. Anthracit, dürfte es sich empfehlen, eine Schicht chromsaures Blei oder geschmolzenes dichromsaures Kalium vorzulegen, diese aber bei der Verbrennung nur schwach zu erwärmen. Schwieriger ist der Fehler zu vermeiden, welcher durch Zersetzung etwaiger Carbonate entsteht. Können diese zugegen sein, so wird eine Probe der Kohle in einem Kochfläschchen mit Wasser übergossen, dann werden einige Tropfen Salzsäure zugesetzt und die beim Kochen entweichenden Gase auf Kohlensäure geprüft, welche erforderlichen Falls quantitativ bestimmt wird.

Da die directe Bestimmung des Sauerstoffes in organischen Stoffen bis jetzt noch etwas bedenklich ist, so begnügt man sich damit, den Sauerstoffgehalt aus der Differenz als Rest zu bestimmen.

Folgendes Beispiel möge die Art der Berechnung erläutern:

	Procentgehalt d. Kohle
2,010 g Kohle geben 48 mg Wasser	2,39
2,401 „ „ „ 118 „ Asche	4,91
1,199 „ „ „ 233 „ $BaSO_4$ oder Schwefel	2,67
1,002 „ „ „ 19 „ NH_3 oder Stickstoff	1,56
0,299 „ geben bei der Verbrennung 829 mg CO_2 oder Kohlenstoff	75,61
0,299 „ „ „ „ „ 107 „ H_2O „ Wasserstoff	3,96
Sauerstoff als Rest	8,90
	100,00

Das Verhalten der fossilen Brennstoffe gegen Kali, unterchlorigsaure Alkalien und Salpetersäure ist von Fremy[1]), Marsilly[2]) und Berthelot[3]) untersucht, ohne daß aber bis jetzt bemerkenswerthe Resultate erzielt wären.

Percy[4]) fand das Verhalten fossiler Brennstoffe, wenn sie bei gewöhnlicher Temperatur mit concentrirten Reagentien während mehrerer Jahre behandelt wurden, wie folgt:

Brennstoffe	Salpetersäure	Schwefelsäure	Ueberchlorsaures Natron	Kali
Braunkohlen	Völlig zersetzt, Lösung hellgelb; Rückstand weiß.	Völlig zersetzt, Lösung blaßorangeroth, Rückstand weiß.	Stark angegriffen; Lösung tiefroth und dick; Rückstand stark gefärbt.	Stark angegriffen; Lösung sehr tiefroth und dick; Rückstand stark gefärbt.
Steinkohlen	Stark angegriffen; Lösung gelblichgrün; Rückstand braun, dunkel.	Stark angegriffen; Lösung wie heller Portwein gefärbt; Rückstand stark gefärbt.	Wenig angegriffen, Lösung gelblich braun; Rückstand nahe schwarz.	Noch weniger angegriffen; Lösung hell gelblichgrün; Rückstand fast schwarz.
Anthracit	Scheinbar unangegriffen; ungefärbte Flüssigkeit; schwarzer Rückstand.	Wenig angegriffen; Lösung hellroth; Rückstand stark gefärbt.	Wenig angegriffen; Lösung hellgelb; Rückstand fast schwarz.	Sehr wenig angegriffen; Lösung gelblich gefärbt; Rückstand fast schwarz.

Guignet[5]) hat durch Behandeln der Steinkohle mit Phenol etwa 2 Proc. einer braunen Masse ausgezogen. Fein gepulverte Kohle mit Salpetersäure behandelt giebt Oxalsäure und Trinitroresorcin, Alkalien ziehen Huminsubstanzen aus. — Praktischen Werth haben diese Versuche noch nicht.

Bestimmung des Brennwerthes. Die Berechnung des Brennwerthes aus der Elementarzusammensetzung der Brennstoffe wird erst später bei der Theorie der Verbrennung besprochen werden können.

Berthier[6]) geht von der Hypothese aus, daß die aus verschiedenen Brennstoffen entwickelten Wärmemengen unter sich genau in demselben Verhältnisse wie die Sauerstoffmengen stehen, welche die Stoffe beim Verbrennen aufnehmen. Er beschränkt sich darauf, diesen Sauerstoff durch die Bleimengen zu bestimmen, welche die verschiedenen Brennstoffe beim Glühen mit Bleioxyd liefern. Zu diesem Zweck wird 1 g des trocknen, möglichst zerkleinerten Brennstoffes mit 20 bis 40 g fein gesiebter Bleiglätte gut gemischt, in einem Tiegel

---

[1]) Dingl. 1861, 162, 190. — [2]) Dingl. 1863, 167, 23. — [3]) Zeitschr. anal. Ch. 1869, 481. — [4]) Eng. Mining. J. 23, Nr. 11. — [5]) Compt. rend. 88, 590. — [6]) Dingl. 1835, 58, 391.

noch mit etwa 20 g Glätte bedeckt und dann allmählich zur Rothglut erhitzt. Nach etwa einer Stunde wird das gewonnene Bleikorn gewogen. 1 Thl. Kohlenstoff entspricht 34 Thln. Blei und 1 g Blei angeblich 235 W.-E. Schrötter[1]) verwendet in gleicher Weise Bleioxychlorid.

Thompson[2]) glüht die fein gepulverte Kohle mit Kaliumdichromat und bestimmt den Gewichtsverlust, dessen Höhe den Werth der Kohle angeben soll.

Derartige Brennwerthbestimmungen sind werthlos. Besser sind schon die Bestimmungen durch Verdampfungsversuche mit Dampfkesseln.

Smeaton scheint zuerst die Verdampfungskraft der Steinkohlen im Großen bestimmt zu haben; er fand i. J. 1772, daß 1 kg Kohle 7,88 kg Wasser von 100° verdampfte. Die folgenden Versuche von Ormesson, Garnier u. A. ergaben nur durchaus unbrauchbare Resultate, während die Heizversuche von Johnson[3]), sowie die von de la Beche und Playfair[4]) bereits mit großer Sorgfalt ausgeführt sind, wegen Nichtbeachtung der Verluste durch die Rauchgase aber doch nur einen beschränkten Werth haben. Dasselbe gilt von den mit so großem Aufwande an Geld und Arbeit ausgeführten Versuchen von Brix[5]), welcher zwar genau Barometerstand, Windrichtung, Beschaffenheit des Wetters und dergleichen angiebt, dagegen die Rauchgase nicht untersucht hat, weil der dafür angeschaffte Apparat (a. a. O. * S. 11 und 29) in der That völlig unbrauchbar war. Bedenklich ist auch die geringe Menge der zu einem Versuche angewendeten Brennstoffe, die nur 150 bis 400 kg (bei Holz und Torf bis 600 kg) betrug, während man zum Anheizen des Kessels bis 145 kg Holz benutzte. So wurden z. B. 45 kg Holz zum Anheizen und nur 150 kg des zu untersuchenden Brennstoffes verwendet (a. a. O. S. 137 und 143).

Marozeau[6]) fand:

Art des Brennmateriales	Aschengehalt	Dampfmenge für 1 kg	Rauchtemperatur
Ronchamp	14,0	7,98	183°
"	14,2	8,44	90
Gemisch von 2/3 Creuzot und 1/3 Ronchamp	10,6	8,97	86

Nimmt man nun mit Peclet an, daß

1) das Volum des Rauches gleich dem der eingeführten auf gleiche Spannung und Temperatur bezogenen Luft sei,
2) die Wärmecapacität des Rauches 0,25 betrage,
3) das Gewicht P eines Luftvolums V von der Spannung 760 mm durch die Formel $P = 1,3\ V$ erhalten werde, so ist die Wärme, welche durch den Rauch verloren geht: $0,25 \times 1,3\ V(T-t)$. $0,325\ V(T-t)$.

---

1) Dingl. 1850, 116, 115. — 2) Eng. Mining. J. 1876, Nr. 16. — 3) Dingl. 1845, 98, 133. — 4) Das. 1848, 110, 212; 1849, 114, 345. — 5) Untersuchungen über die Heizkraft der Brennstoffe Preußens (Berlin 1853). — 6) Bull. Muhlh. 33, 439; Dingl. 1850, 117, 244.

Das Volumen V wird mit Hülfe folgender Ueberlegung gewonnen. Die von dem Vorwärmer absorbirte Wärme ist gleich der durch den Rauch verlorenen Wärme, somit: $p\,O = 0{,}325\ V\,(T - t)$ oder

$$V = \frac{p\,O}{0{,}325\,(T - t)}$$

wo p die durch den Vorwärmer für 1 kg gehende Wassermenge und O die Temperaturerhöhung in diesem Wasser bedeutet.

Da sich nach Angabe von Marozeau das Luftvolumen bei allen Versuchen nicht wesentlich änderte und zwar gegen 15 cbm betrug, so erhält man, wenn die Heizkraft von Ronchamp-Kohle wie oben zu 7872 Wärmeeinheiten, die des Gemisches von Creuzot und Ronchamp nach Scheurer-Kestner um $^{21}/_{1000}$ mal größer als von Ronchamp-Kohle allein, somit 8037 Wärmeeinheiten angenommen wird:

Lauf. Nr. des Versuchs	Vom Dampf absorbirte Wärmemenge absolut	in Procenten	In den Verbrennungsgasen abgehende Wärme absolut	in Procenten	Durch Leitung und Strahlung verlorene Wärmemenge absolut	in Procenten
1	5187	65,9	892	11,3	1793	22,8
2	5486	69,7	439	5,6	1947	24,7
3	5831	72,5	419	5,2	1787	22,3

Viel mehr Vertrauen verdienen die an einem Betriebskessel ausgeführten Versuche von Hartig [1]), für die je 1500 kg Kohlen verwendet wurden. Leider sind aber die Temperaturen der abziehenden Gase zu selten bestimmt (innerhalb 24 Stunden meist nur 2 bis 3 Mal), die Zusammensetzung derselben ist aber gar nicht berücksichtigt. Jedenfalls sind die Ergebnisse dieser Arbeit insofern werthvoll, als sie zeigen, daß beim praktischen Dampfkesselbetrieb 42 bis 71 Procent der aus der Elementaranalyse der Kohlen berechneten theoretischen Heizkraft für die Dampfbildung nutzbar gemacht werden (a. a. O. S. 465). Brix hatte mit seinem Versuchskessel für Steinkohlen 52 bis 75 Proc. gefunden; ähnlich Johnson, Playfair und C. v. Hauer [2]), so daß danach Stein [3]) annimmt, der praktische Nutzwerth der Kohlen betrage $^2/_3$ des aus ihrer Zusammensetzung berechneten Brennwerthes.

Scheurer-Kestner [4]) hat das Verdienst, zuerst gezeigt zu haben, wie die einzelnen Wärmeverluste bei Dampfkesselfeuerungen bestimmt werden können. Nennt man nach ihm v das Volumen der Kohlensäure, v' das von Kohlenoxyd, v'' das Volumen des Kohlenstoffes in Gasform, v''' das Volumen des überflüssigen Sauerstoffes, c das Gewicht des in der Kohlensäure, dem Kohlenoxyd sowie Kohlenwasserstoff enthaltenen Kohlenstoffes, C das Gewicht des in einem Kilogramm der Kohle enthaltenen Kohlenstoffes, x und X die Volumina Sauer-

1) E. Hartig: Untersuchungen über die Heizkraft der Steinkohlen Sachsens (Leipzig 1860). — 2) C. v. Hauer: Die fossilen Kohlen Oesterreichs, 1862. — 3) Stein: Untersuchung der Steinkohlen Sachsens, 1857, S. 26. — 4) Bull. Muhlh. 1868, 744; 1869, 241; 1871, 191; Dingl. 1870, 196, *22; 1871, 200, 459; 202, 312; Bayer. Ind. Gew. 1878, 223.

stoff und Luft, welche von 1 kg Kohle verbraucht werden; und endlich y das Gesammtvolum des anfänglich vorhandenen Sauerstoffes. Es ist dann

$$y = v + \frac{v'}{2} + v'', c = \frac{v \times 1,966 \times 6}{22} + \frac{v' \times 1,251 \times 6}{14} + v'' \times 1,072$$

. wobei 1,966 g das Gewicht von 1 Liter Kohlensäure,
1,251 " " " " " " Kohlenoxyd,
1,071 " " " " " " Kohlenstoff in Gasform

und 6, 22, 14 die Aequivalentzahlen von Kohlenstoff, Kohlensäure und Kohlenoxydgas bedeuten.

Sieht man vorerst von der Verbrennung des in der Kohle enthaltenen Wasserstoffes ab, und bestimmt man durch eine Gasanalyse procentisch den Gehalt der Rauchgase an Kohlenstoff und Sauerstoff, so ist der Quotient dieser beiden Größen gleich dem Verhältniß des in 1 kg Brennmaterial enthaltenen Kohlenstoffes zu dem für 1 kg bei der Verbrennung aufgenommenen Sauerstoffes, und es besteht das Verhältniß:

$$\frac{c}{y} = \frac{C}{x} \text{ oder } x = \frac{C}{c}\, y = \frac{C}{c}\left(v + \frac{v'}{2} + v''\right).$$

Diesem Sauerstoff ist noch die durch Verbrennung des Wasserstoffes in der Kohle verschwundenen Sauerstoffes (a) zuzuzählen, so daß das totale für jedes Kilogramm Brennmaterial in den Herd tretende Volum Sauerstoff durch die Formel $x' = \frac{C}{c}\left(v + \frac{v'}{2} + v''\right) + a$ gegeben ist. Da endlich die Luft ein $\frac{100}{20,97} = 4,761$ mal grösseres Volumen besitzt als der in ihr enthaltene Sauerstoff, so erhält man die gesammte für jedes Kilogramm Brennmaterial unter den Rost tretende Luftmenge gleich $X = \frac{C}{c}\left(v + \frac{v'}{v} + v'' + a\right) 4,761.$

Indem Scheurer-Kestner einen Theil der Rauchgase abfing, und denselben analysirte, hat er mit Hülfe der eben abgeleiteten Formel, die zur Verbrennung dienende Luft berechnet. Die eben besprochenen Beobachtungen machten es möglich, alle einzelnen Wärmeverluste zu berechnen, so daß Scheurer-Kestner für eine Reihe von Brennmaterialien folgende Tabelle zusammenstellen konnte:

Art der Brennkohle	Wärmemenge mit dem Calorimeter (S. 152) gefunden	Wärmemenge in dem gebildeten Dampf	Wärmeverlust durch die in den Kamin tretende Luft	Wärmeverlust durch die gebildeten Verbrennungsgase	Wärmeverlust durch den Ruß	Wärmeverlust durch den Wasserdampf im Rauch	Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung
Ronchamp a.	9081	5681	403	790	70	274	1863
„ b.	9117	5976	429	580	35	265	1832
Friedrichsthal	8457	5041	320	749	63	282	2002
Dudweiler.	8724	5379	425	499	33	288	2100
Louisenthal	8215	4752	315	802	61	295	1990
Altenwald	8633	5393	407	498	34	303	1998
Heinitz	8487	5111	369	604	49	268	2086
Sulzbach	8451	5059	450	477	33	303	2126
v. d. Heydt	8462	5037	421	624	49	321	2010
Blanzy a	8325	4831	414	816	62	335	1867
„ b	9100	5666	615	447	35	288	2049
Creusot	9412	5966	817	232	35	224	2138
Gemisch von ⅔ a	9310	6411	562	224	35	233	1848
Creuzot und ⅓ Ronch. b	9310	6313	619	228	36	246	1868
Holzkohle	8080	4970	687	210	—	—	2213

Darnach finden sich im Mittel von der Gesammtwärmemenge:

in dem Dampf	60,5
in der Asche	1,5
in den durch den Kamin entweichenden Produkten, nämlich:	
in der Luft	5,5
in den Verbrennungsgasen	5,9
in dem Ruß	0,5
im Wasserdampf des Rauches	2,5
in dem Verlust durch das Mauerwerk	24,5
	100,00

Leider war die Untersuchung der Rauchgase noch mangelhaft [1]), so daß die gefundenen Werthe nicht ganz zuverlässig sind. Dasselbe gilt von den Versuchen Weinhold's [2]); derselbe bezeichnet mit c den Kohlenstoff, dessen Theil c_1 zu Kohlen-

[1]) Dingl. 1878, 227, 175. — [2]) Das. 1876, 219, 25.

säure, c_2 zu Kohlenoxyd verbrennt, mit h den Wasserstoff, o den Sauerstoff, w das Wasser, a die Asche, mit W die Verbrennungswärme und mit T die Verbrennungstemperatur. Nun entsteht bei der Verbrennung aus h die Wassermenge $9h$, aus c_1 die Kohlensäuremenge $\frac{11c_1}{3}$ und aus c_2 die Kohlenoxydmenge $\frac{7c_2}{3}$ mit einem Sauerstoffgehalte $= 8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3}$. Von diesem stammen aus der Luft $8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3} - 0$, somit enthalten die Rauchgase außer den Verbrennungsprodukten noch $(n-1)\left(8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3} - 0\right)$ Sauerstoff, $\frac{77n}{23}\left(8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3} - 0\right)$ Stickstoff und die aus dem Wassergehalte des Brennstoffes herrührende Menge Wasserdampf w. Dann ergiebt sich die Gleichung (s. f. S.):

Wird die Luft der Feuerung mit der Temperatur t zugeführt, so verkleinert sich V um den Werth $t\,n\,(8{,}28h + 2{,}76c_1 + 1{,}38c_2 - 1{,}03o)$, während sich Ω um ebensoviel vergrößert. Die Bezeichnung nutzbare Wärmemenge für Ω ist übrigens insofern keine ganz correcte, als diese Wärmemenge nicht ausschließlich zur Erwärmung des eigentlichen Heizobjectes — also beispielsweise des Kessels —, sondern auch zur Erwärmung des umgebenden Mauerwerkes und dergleichen dient.

Diese Art der Berechnung ist etwas schwerfällig und nicht ganz genau.

Leider sind auch bei den von R. Weinlig [1]) mit so großer Sorgfalt ausgeführten Verdampfungsversuchen die Rauchgase von Alberti und W. Hempel [2]) nach einer geradezu unglücklichen Methode untersucht (daß die Rauchgasanalysen durchaus falsch sind, ergiebt sich auf den ersten Blick aus den mitgetheilten Zahlen, namentlich der Versuchsreihe L), so daß die erhaltenen Resultate zwar von praktischem Werthe sind, nicht aber eine Trennung und Bestimmung der einzelnen Verlustquellen zulassen. Wie sehr verschieden aber die Resultate sein können, wenn diese Verluste, namentlich die durch die abziehenden Rauchgase herbeigeführten, nicht genau berücksichtigt werden, zeigen die von der Industriegesellschaft in Mülhausen seit dem Jahre 1860 ausgeführten Preisheizversuche [3]). Die betreffenden Heizer sind vorher nach einem gleichen System unterrichtet und haben dann an dem gleichen Kessel längere Zeit den Herd zu bedienen. Es wird die Menge der verbrauchten Brennstoffe, deren Rückstände und die erhaltene Dampfmenge bestimmt. Nachfolgende Tabelle zeigt die Mittelwerthe der so erhaltenen Resultate:

---

[1]) Technische Mittheilungen des Magdeburger Vereins für Dampfkessel 1877, Heft 6. — [2]) Vergl. 1878, 228, 439. — [3]) Bull. Mulh. 1860, 335 bis 1877, 513.

$$W + tn\left[0{,}218\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right) + 0{,}244\,\frac{77}{23}\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right)\right]$$
$$= T\left[0{,}25\,a + 0{,}202\,\frac{11}{3}c_1 + 0{,}245\,\frac{7}{3}c_2 + 0{,}218(n-1)\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right) + 0{,}244\,\frac{77}{23}n\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right)\right]$$
$$+ (9h + w)(536 + 100) + 0{,}475\,(9h + w)(T - 100)$$

und daraus:

$$T = \frac{W + tn(8{,}279\,h + 2{,}760\,c_1 + 1{,}380\,c_2 - 1{,}035\,o) - 5297\,h - 588{,}5\,w}{0{,}25\,a + 0{,}475\,w + 0{,}1593\,c_1 + 0{,}2810\,c_2 + 2{,}531\,h + 0{,}218\,o + n(8{,}279\,h + 2{,}760\,c_1 + 1{,}380\,c_2 - 1{,}035\,o)},$$

oder etwas mehr abgerundet

$$T = \frac{W + tn\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o) - 5300\,h - 589\,w}{0{,}25\,a + 0{,}48\,w + 0{,}16\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}53\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}30\,o)},$$

oder nach dem Einsetzen der richtigeren Zahlen [1]) für die specifische Wärme der Gase

$$T = \frac{W + tn\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o) - 5300\,h - 588\,w}{0{,}25\,a + 0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)}$$

und für gewöhnliche Feuerungen $t = 0$ gesetzt:

$$T = \frac{W - 5300\,h - 588\,w}{0{,}25\,a + 0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)}.$$

Entweichen die Verbrennungsgase mit der Temperatur t, so ist die nutzbare Wärmemenge

$$\mathfrak{Q} = (T - t)\,[0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)]$$

und der Wärmeverlust

$$V = \mathfrak{W} - W + 0{,}25\,a\,T + t[0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)]$$
$$+ 588\,(9h + w),$$

wenn mit $\mathfrak{W}$ die Gesammtverbrennungswärme bezeichnet wird.

---

[1]) Dingl. 1879, 234, 343.

Jahrgang	Aschengehalt der Kohle	Von 1 kg verdampfte Wassermenge		Procentischer Unterschied in der Leistung der Heizer
		bei 10 Proc. Aschengehalt	für brennbare Substanz	
1861	9,6	6,93	7,68	15,3
1862	10,8	7,59	8,35	4,2
1863	12,4	7,43	8,25	18,7
1864	13,3	7,55	8,39	10,4
1865	21,6	7,67	8,51	9,6
1866	20,9	6,47	7,18	28,2
1867	17,7	7,64	8,48	16,6
1868	11,0	7,41	8,22	7,5
1869	16,1	7,24	8,02	8,0
1873	23,4	8,40	9,33	—
1874	17,1	8,31	9,22	7,1
1875	18,4	9,03	10,02	10,0
1877	7,6	8,74	9,69	8,5

Der Unterschied in den Leistungen der einzelnen Heizer beträgt also bis 28 Proc. Ja als im Jahre 1863 drei der Heizer sich einer engeren Concurrenz unterwarfen, verdampften sie mit 1 kg aschenfreier Kohle 8,45, 8,24 und 8,17 kg Wasser, unmittelbar vorher, also unter genau denselben Verhältnissen, aber nur 7,37, 7,37 und 7,30 kg. Wenn solche Unterschiede durch gleichmäßig gut geschulte Heizer, an derselben Kesselanlage und mit denselben Brennstoffen vorkommen, welche wohl nur auf die Beschaffenheit der abziehenden Rauchgase zurückzuführen sind, so wird man zugeben, daß der Werth der Versuche, bei denen nur die Temperatur der Rauchgase bestimmt ist und mehr noch derjenigen [1]), bei denen selbst die Temperatur gar nicht oder doch sehr mangelhaft berücksichtigt ist, in keinem Verhältniß zu dem Aufwande an Arbeit und Geld stehen, welchen sie erfordert haben. Nur wenn die Ursachen der einzelnen Verluste genau und unter den verschiedensten Verhältnissen festgestellt werden, können solche Heizversuche ihren Zweck erfüllen.

Bei der Ausführung von Heizversuchen mit Dampfkesseln, um den Heizwerth eines Brennstoffes festzustellen, ist nun zu bestimmen, wie viel Wasser mit 1 kg des Brennstoffes verdampft wird.

Die Menge des dem Dampfkessel während des Versuches zugeführten Wassers ist leicht durch Wiegen oder Messen festzustellen [2]). Schwieriger ist es zu er-

[1]) Zusammengestellt, Dingl. 1879, 232, *238. — [2]) Dingl 1876, 219, *19.

reichen, daß nach Beendigung des Verdampfungsversuches im Kessel genau dieselbe Wassermenge vorhanden ist als bei Anfang desselben. Selbst bei Berücksichtigung der Ausdehnung des Kessels [1]) und des Wassers werden hier leicht Fehler gemacht, welche nur durch längere Dauer der Versuche, wie sie z. B. Hartig und Weinlig ausführten, unmerklich werden.

Die Menge des zugeführten Speisewassers darf aber noch nicht als wirklich verdampft angesehen werden, da der Dampf aus verschiedenen Dampfkesseln oft erhebliche Wassermengen (bis 20 Proc.) mit sich fortreißt, falls keine Dampftrockner [2]) angewendet werden.

Den Wassergehalt des Dampfes bestimmt Hallauer [3]) aus der durch die Condensation einer bestimmten Dampfmenge frei werdenden Wärme; ebenso Hugentobler [4]). Diese von Hirn angegebene Methode leidet nach C. Linde [5]) an dem Fehler, daß sehr feine Wägungen eines schweren Calorimeters nöthig sind, so daß der Versuch nur dann richtige Resultate geben kann, wenn genaue physikalische Instrumente zur Verfügung stehen. Derselbe hat daher statt eines Einspritzcondensators einen Oberflächencondensator angewendet. Linde hat aber bis jetzt mit dem Apparate sehr eigenthümliche Resultate gefunden, aus denen er schließt, daß die Angaben der elsässischen Ingenieure nicht richtig sein können. Er fand nämlich bei einer Reihe von Versuchen genau trockenen, gesättigten Dampf, aus dem Condensationsproceß der Dampfmaschine aber einen Wassergehalt des Dampfes von 7 bis 12 Proc. Er erklärt dies daraus, daß der Dampf in der Richtung des Hauptrohres an der Mündung des rechtwinklig angesetzten Dampfröhrchens vorbeiströmt und somit rechtwinklig abgelenkt werden muß. Das mitgerissene Wasser geht nun vermöge seines specifischen Gewichtes einfach an der Oeffnung vorbei und es geht nur der rein gesättigte Dampf hinein. Es bleibt also nichts übrig, als das Rohr in die Richtung des Hauptrohres umzubiegen. Aber auch da wird der Versuch nur dann richtig sein, wenn das Verhältniß der beiden Rohrquerschnitte dasselbe ist, wie das Verhältniß der Dampfmengen in beiden Röhren; denn wenn das Dampfröhrchen einen verhältnißmäßig größeren Querschnitt hat, so wird sämmtliches Wasser, welches in dasselbe eintritt, mitgehen, während der Dampf sich natürlich nach der Menge, welche der Hahn durchläßt, regelt. Linde glaubt daher, daß diese Methode, von der man sich so viel versprochen hat, sehr mißlich ist und große Sorgfalt erheischt. Für vollkommen zuverlässig hält er sie vorläufig nur dann, wenn die Condensation und Messung sich auf die gesammte Dampfmenge erstreckt, was natürlich nur bei kleinen oder bei solchen Kesselanlagen durchführbar erscheint, welche speciell zu Versuchszwecken eingerichtet sind.

Knight [6]) und in fast gleicher Weise Guzzi füllen ein Kupfergefäß mit dem zu untersuchenden Dampfe und bestimmen den Wassergehalt durch Wägung. Es

---

[1]) Hartig, Steinkohlen Sachsens, S. 21. — [2]) Dingl. 1873, 207, *353; 1875, 218, *92; 1878, 227, *123; 1879, 232, *215. — [3]) Dingl. 1875, 215, *512. — [4]) Dingl. 1878, 227, 331. — [5]) Dingl. 1879, 232, *240. — [6]) Dingl. 1878, 227, *328.

ist aber zweifelhaft, ob der in dem Gefäße abgesperrte Dampf denselben Wassergehalt hat als der aus dem Kessel entweichende.

Einfacher und zuverlässiger ist es jedenfalls, eine beliebige Dampfmenge zu condensiren und in dem erhaltenen Wasser Chlor, Schwefelsäure oder sonst einen leicht nachweisbaren Bestandtheil des Kesselwassers zu bestimmen, woraus sich sofort das Verhältniß von Dampf und mitgerissenem Wasser ergiebt.

Die Menge des verwendeten Brennstoffes wird einfach durch Wägung bestimmt. Da es aber sehr schwierig ist festzustellen, ob der Kessel und das Mauerwerk nach dem Versuche genau dieselbe Wärmemenge enthalten als vorher, so müssen auch aus diesem Grunde die Versuche möglichst lange dauern. Solche von nur 3 bis 5 Stunden Dauer sind werthlos.

Es ist nun ferner festzustellen, wie viel von der Wärme, welche der Brennstoff überhaupt liefern kann, nicht zur Dampfbildung verwerthet wurde und wodurch dieser Verlust veranlaßt wird. Als solche Verlustquellen sind aber zu betrachten:

1. Unvollkommene Verbrennung.
2. Die Wärmemengen, welche mit den festen Verbrennungsrückständen vom Roste entfernt werden.
3. Jene, welche in Folge der höheren Temperatur der Rauchgase in den Schornstein entweichen.
4. Leitung und Strahlung.

1. Wird der Kesselfeuerung nicht die zur völligen Verbrennung erforderliche Menge Sauerstoff mit der atmosphärischen Luft zugeführt, oder werden die aus dem Brennstoff entwickelten Gase vor ihrer Vereinigung mit dem Sauerstoff unter ihre Entzündungstemperatur abgekühlt [1]), so scheidet sich Ruß ab und die Rauchgase enthalten Kohlenoxyd, seltener Kohlenwasserstoffe. Während der Verlust durch Rußbildung kaum mehr als 2 Proc. betragen kann, ist der durch Kohlenoxydbildung zuweilen sehr erheblich. Thompson [2]) giebt an, daß bei 42 Dampfkesseln 42 Procent des gesammten Brennwerthes durch Kohlenoxydbildung und 12 Procent durch Leitung und Strahlung verloren gingen. Leider ist die Art der Untersuchung, nach der in den Rauchgasen 8 Proc. Kohlensäure, 9 Proc. Sauerstoff und 8 Proc. Kohlenoxyd enthalten gewesen sein sollen, nicht angegeben, auch keine Rücksicht auf die Temperatur genommen, so daß die Angaben sehr zweifelhaft sind.

Bezeichnet man das Gewicht der einzelnen Gemengtheile eines Gases mit $g, g_1 \ldots g_n$ und ihre Verbrennungswärme mit $w, w_1 \ldots w_n$, so ist die Verbren-

---

[1]) Cailletet (1866, 181, 295) meint, auch in Dampfkesselfeuerungen kämen so bedeutende Dissociationswirkungen vor, daß selbst noch bei 500° in den Zügen Kohlenoxyd sich mit dem Sauerstoff vereinige, diese Rauchgase daher rasch abgekühlt eine andere Zusammensetzung hätten als langsam abgekühlt. Ich habe dagegen die Gase meist durch ein kurzes Glasrohr mit daran sitzendem Gummischlauch angesaugt, welcher doch sicher zerstört würde, wenn innerhalb desselben noch Kohlenoxyd verbrannt wäre (vergl. Theorie der Verbrennung). — [2]) Dingl. 1866, 179, 4.

nungswärme des Gasgemisches $W = \frac{w g + w_1 g_1 + \cdots + w_n g_n}{g + g_1 + \cdots + g_n} = \frac{\Sigma w g}{\Sigma g}$. Bei einer Dampfkesselanlage, welche Piesberger Anthracit verfeuert, gab z. B. die Untersuchung der Rauchgase im Durchschnitt:

Kohlensäure (CO_2) . . . . 11,8 Proc.
Kohlenoxyd (CO) . . . . 15,0 „
Stickstoff . . . . 73,2 „

Um dieses Volumverhältniß in Gewichtsverhältnisse umzurechnen, bedient man sich folgender Tabelle, die nach Regnault und Lasch[1]) die Gewichte von 1 bis 9 cbm der Gase bei 0° und 750 mm für Berlin enthält:

(cbm und g)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Atmosphärische Luft . .	1293,6	2587	3881	5175	6468	7762	9055	10349	11643
Sauerstoff	1430,3	2861	4291	5721	7151	8582	10012	11442	12872
Stickstoff	1256,6	2513	3770	5026	6283	7540	8796	10053	11309
Wasserdampf	804,8	1610	2414	3219	4024	4829	5633	6438	7243
Kohlensäure	1978,1	3956	5934	7912	9891	11869	13847	15825	17803
Kohlenoxyd	1259,3	2519	3778	5037	6296	7556	8815	10074	11334

Danach wiegen also 10 cbm Kohlensäure 19 781 g, 1 cbm 1987,1 und 0,8 = 1582,5 g oder 11,8 cbm = 23 342 g oder 23,34 kg, 15 cbm Kohlenoxyd 18,89 kg und 73,2 cbm Stickstoff 91,98 kg, 100 cbm des Gasgemisches demnach 134,21 kg. Ferner geben 12 kg Kohlenstoff 28 kg oder 22,3 cbm Kohlenoxyd und 44 kg oder 22,3 cbm Kohlensäure (nach Staß 27,96 kg und 43,92 kg); statt der 18,89 kg Kohlenoxyd würden demnach 29,67 kg Kohlensäure gebildet sein, wenn die Verbrennung eine vollständige gewesen wäre. Nun enthielt die verwendete Kohle 80 Proc. Kohlenstoff, 1 kg gab demnach bei vollständiger Verbrennung 2,93 kg oder 1,487 cbm Kohlensäure, im vorliegenden Falle aber $\frac{2,93 \times 23,34}{23,34 + 29,67} = 1,29$ kg Kohlensäure, $\frac{2,93 \times 18,89}{53,01} = 1,043$ kg Kohlenoxyd und $\frac{2,93 \times 91,98}{53,01} = 5,09$ kg Stickstoff.

[1]) Poggend Erg. 3, 321; für CO berechnet aus $\frac{1,9781 \times 27,96}{43,92}$. Jolly hat neuerdings gefunden, daß für die geographische Breite von München von 48° 8′ und der Höhe von 515 m über der Meeresfläche 1 Liter Sauerstoff 1429,094 mg und 1 Liter Stickstoff 1257,614 mg wiegen. Daraus berechnen sich für Paris 1429,388 mg und 1257,873 mg, oder für Stickstoff 1,706 mg mehr, als Regnault fand. Jolly vermuthet, daß dieses Mindergewicht einem Gehalte an Wasserstoff bei dem von Regnault untersuchten Stickstoff zuzuschreiben sei. (Annal. Phys. Chem. 6, 538.)

Dasselbe Resultat erhalten wir durch folgende Erwägung. Da 1 Vol. Kohlenoxyd bei der Verbrennung auch 1 Vol. Kohlensäure giebt, so gab 1 kg Kohle $= \frac{1{,}487 \times 11{,}8}{11{,}8 + 15{,}0} = 0{,}655$ cbm oder 1,29 kg Kohlensäure, $\frac{1{,}487 \times 15}{26{,}8}$ $= 0{,}832$ cbm oder 1,043 kg Kohlenoxyd und $\frac{1{,}487 \times 73{,}2}{26{,}8} = 4{,}06$ cbm oder 5,1 kg Stickstoff. Somit folgt:

	Volumverhältniß	Gewichtsverhältniß	1 kg Kohle gibt cbm	1 kg Kohle gibt kg
Kohlensäure	11,8	23,34	0,655	1,29
Kohlenoxyd	15,0	18,89	0,832	1,04
Stickstoff	73,2	91,98	4,060	5,10
			5,547	7,43

Da nun 1 kg Kohlenoxyd beim Verbrennen zu Kohlensäure 2403 W.-E. entwickelt, so hatten hier 100 cbm der entweichenden Gase einen Brennwerth von 45 303 W.-E. und der Verlust durch Kohlenoxydbildung betrug für 1 kg Kohle 2505 W.-E. oder 35 Proc. des Gesammtbrennwerthes von etwa 6700 W.-E. Uebrigens muß hervorgehoben werden, daß diese Kesselanlage bis jetzt die einzige ist, bei welcher ich eine irgendwie erhebliche Kohlenoxydbildung habe nachweisen können; alle übrigen arbeiteten mit einem großen Luftüberschuß.

Zu berücksichtigen ist ferner, daß kleine Kohlenstückchen durch den Rost fallen können und die entfernten Schlacken oft noch nicht ausgebrannte Kohlen enthalten. Der dadurch entstehende Verlust beträgt nicht selten 5 bis 8 Proc.

2. Die Wärmemenge, welche dadurch für die Dampfbildung verloren geht, daß die festen Verbrennungsrückstände mit einer höheren Temperatur, als die atmosphärische Luft hat, vom Roste entfernt wird, braucht nur bei wissenschaftlich genauen Versuchen ermittelt zu werden. Selbst wenn die Schlacken 800° haben sollten — was gewöhnlich nicht der Fall ist, da sie unmittelbar auf dem Rost liegen —, so ergiebt sich bei 10 Proc. Aschengehalt und 0,25 specif. Wärme für 1 kg Kohle nur 20 W.-E. Gelangen die Rückstände aber in den Aschenfall, so wird dieser Verlust unmerklich, da die Wärme derselben größtentheils auf die in das Feuer eintretende atmosphärische Luft übertragen wird.

3. Die Wärmemenge, welche durch die höhere Temperatur der entweichenden Rauchgase verloren geht, ist oft sehr bedeutend und durchweg viel größer, als für gewöhnlich angenommen wird, oder für die Erhaltung des Zuges in den Schornsteinen erforderlich wäre. Zur Feststellung der Größe dieses Verlustes muß man die Menge der Rauchgase, ihre Zusammensetzung und ihre Temperatur genau bestimmen.

Um die Menge der abziehenden Rauchgase zu bestimmen, hat man wohl mittels Anemometer die in die Feuerung tretende atmosphärische Luft gemessen. Abgesehen von der schwierigen Ausführung dieses Verfahrens sind die erhaltenen Resultate nicht zuverlässig, da einerseits eine genaue Messung der Luft unter diesen

Verhältnissen bis jetzt nicht ausführbar ist (wegen Reibungswiderständen, Temperaturdifferenzen und dergleichen), andererseits schwerlich jemals ein Kesselmauerwerk völlig luftdicht ist, die durch dasselbe eindringende Luft aber nicht direct gemessen werden kann.

Linde[1]) will in ähnlicher Weise wie Marozeau (S. 130) aus der von einem großen Dampfkessel auf das Speisewasser übertragenen Wärmemenge W_1 und der im Vorwärmer abgegebenen Wärme W_2, sowie aus der Temperatur der Rauchgase t_2 zwischen Kessel und Vorwärmer und t_3 hinter dem Vorwärmer sowohl die Gesammtmenge L der Rauchgase, als auch die Temperatur im Feuerraum t_1 berechnen mittels der Gleichungen $\frac{W_1}{W_2} = \frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_3}$ und $W_2 = Lc\,(t_2 - t_3)$, wobei c die specifische Wärme ausdrückt, folglich $L = \frac{W_2}{c\,(t_2 - t_3)}$.

Zur näheren Erläuterung dieser Methode mit zwei Calorimetern mögen folgende zwei Versuche angeführt werden. Beim ersten wurde das erste Calorimeter durch 8 Dampfkessel mit zusammen 400 qm Heizfläche, das zweite Calorimeter durch einen Vorwärmer von 270 qm Heizfläche dargestellt; beim zweiten wurde ein Kessel ausgeschaltet. Verbrannt wurden Penzberger Kohlen mit nur 40 Proc. Kohlenstoff:

		8 Kessel	7 Kessel
Speisewasserverbrauch	kg	47 265	28 326
Wassergehalt des Dampfes	Proc.	7,95	12,25
Mittlerer Dampfüberdruck	Atm.	5,18	6,5
Speisetemperatur beim Eintritt in den Vorwärmer		30,75°	33,97°
Desgleichen beim Austritt		88°	105,6°
$w_2 : w_1$		0,102	0,13
t_2		207°	197°
t_3		126°	127,3°
t_1 (berechnet)		936°	773°
1 kg Kohle verdampfte Wasser	kg	3,97	4,08
Menge der Verbrennungsgase für 1 kg Kohle	kg	12,4	18,7

Nach einer späteren Angabe sollen für 1 kg Kohle 12,4 und 18,2 kg atmosphärische Luft zugeführt sein. Linde erklärt das günstigere Resultat des zweiten Versuches aus der vollständigeren Verbrennung, welche den Verlust durch die bedeutend größere Menge Verbrennungsgase mehr als ausgeglichen habe — eine Annahme, welche nicht wahrscheinlich ist, da schon beim ersten Versuche ein großer Luftüberschuß vorhanden war.

Diese Berechnung von Linde setzt aber voraus, daß die Wärmeübertragung von den Feuergasen auf das Wasser im Kessel und Vorwärmer genau der Temperatur proportional sei, was indeß wegen des Einflusses von Flugstaub, Ruß, Rostbildungen, Kesselsteinablagerungen, ja selbst der ungleichen Beschaffenheit der Bleche wohl kaum jemals der Fall sein wird. Es ist ferner nicht berücksichtigt, daß die beiden Calorimeter auch erhebliche Mengen von Wärme durch Leitung und Strahlung verlieren, und schließlich, daß die specifische Wärme der Rauchgase

---

[1]) Dingl. 1876, 220, *115; 1879, 232, 240.

für die verschiedenen Temperaturen nicht constant ist. Das Verfahren wird deshalb gewöhnlich nicht einmal annähernd richtige Resultate ergeben. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als die Gesammtmenge der Rauchgase aus der Analyse derselben und der Brennstoffe zu berechnen.

Bei den bisherigen Heizversuchen hat man nun zwar meist die größte Sorgfalt auf die Angabe der Temperatur des Speisewassers und der atmosphärischen Luft, des Barometerstandes, ja selbst der Beschaffenheit von Wind und Wetter verwendet, auch umständliche Rechnungen ausgeführt, dabei aber durchweg unrichtige Werthe für die specifische Wärme der Verbrennungsgase eingesetzt. Da die von Regnault[1]) gefundenen Werthe für die specifische Wärme der hier in Betracht kommenden Gase und Dämpfe noch maßgebend sind, diese Zahlen aber in den bekannten Lehr- und Handbüchern von Bunsen[2]) (dieselben Werthe hat Péclet[3]), Emsmann[4]), Ferini[5]), Jamin[6]), Wüllner[7]) und Naumann[8]) unbegreiflicher Weise verschieden angegeben werden, da ferner die mit der Temperatur steigende specifische Wärme nur von Wüllner berücksichtigt wird, der aber in seinen Schlußformeln nicht richtige Vorzeichen gebraucht, so müssen zunächst diese Angaben richtig gestellt werden.

Nachfolgende kleine Tabelle enthält die von Regnault gefundenen Werthe für die angegebenen Temperaturgrenzen. Des leichteren Vergleiches wegen ist jedesmal die betreffende Seite der Originalarbeit in den Mémoires angegeben.

	Temperatur	Specif. Wärme	Seite
Atmosphärische Luft	0 bis 200°	0,23751	95 u. 156
Sauerstoff	10 „ 200	0,21751	113
Stickstoff	0 „ 200	0,2438	117
Wasserstoff	10 „ 200	3,4090	117
Kohlensäure (CO_2)	—30 „ +10	0,18427	127
Desgleichen	+10 „ 100	0,20246	127
Desgleichen	10 „ 210	0,21692	128
Kohlenoxyd (CO)	10 „ 200	0,2450	131
Methylwasserstoff (CH_4)	desgl.	0,59295	139
Aethylen (C_2H_4)	desgl.	0,4040	140
Schwefligsäure (SO_2)	desgl.	0,15531	145
Wasserdampf (H_2O)	desgl.	0,48051	167

Für die specifische Wärme der Kohlensäure wurden nur die drei letzten Versuchsreihen zu Grunde gelegt, da Regnault selbst nur diese bei seinen Rechnungen berücksichtigt, für Schwefligsäure nur die letzte Versuchsreihe, welche mehrere Jahre später als die erste und somit auf Grund reicher Erfahrungen ausgeführt wurde. Die specifische Wärme des Wasserstoffes ergab sich für die

---

[1]) Mém. l'Acad. 26, 1 — 928. — [2]) R. Bunsen: Gasometrische Methoden, 1877, S. 310. — [3]) Péclet: Traité de la chaleur, 1878, T. 1, p. 608. — [4]) Emsmann: Physikalisches Wörterbuch, 1868, S. 628. — [5]) Ferini: Technologie der Wärme, 1878, S. 31. — [6]) Jamin: Cours de Physique, 1878, T. 2, p. 69. — [7]) Wüllner: Die Lehre von der Wärme, 1871, S. 140. — [8]) Naumann: Gmelin-Kraut's Handbuch der Chemie, Bd. 1, Abtheilung 1, S. 276.

Temperaturen zwischen -30^{0} und $+10^{0}$ zu 3,3996, also fast genau derselbe Werth als für 0 bis 200^{0}. Dasselbe gilt für die atmosphärische Luft, deren specifische Wärme von -30^{0} bis $+10^{0}$ zu 0,23771, von 0 bis 100^{0} zu 0,23741 und von 0 bis 200^{0} zu 0,23751 bestimmt ist. Von den zur Feststellung des letzten Werthes ausgeführten 28 Bestimmungen ergab die niedrigste 0,23601, die höchste 0,23891, so daß die Durchschnittszahl 0,2375 als besonders zuverlässig zu bezeichnen ist. Die specifische Wärme von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff ändert sich hiernach nicht mit der Temperatur, wohl aber die der Kohlensäure, welche bekanntlich vom Boyle-Mariotte'schen Gesetz abweicht.

Bezeichnen wir nun mit λ die Anzahl Wärmeeinheiten, welche erforderlich sind, 1 kg Kohlensäure von -30 auf t^{0} zu erwärmen, so ergiebt sich: $\lambda = A\Theta + B\Theta^{2} + C\Theta^{3}$, wenn $\Theta = t + 30^{0}$ ist. Die drei constanten Coëfficienten A, B und C werden mittels der drei aus den Versuchsreihen abgeleiteten Gleichungen:

$$0{,}18427 \times 40 = 7{,}3708 = A \times 40 + B\,(49)^{2} + C\,(40)^{3}$$
$$7{,}3708 + 0{,}20246 \times 90 = 25{,}5922 = A \times 130 + B\,(130)^{2} + C\,(130)^{3}$$
$$7{,}3708 + 0{,}21692 \times 200 = 50{,}7548 = A \times 240 + B\,(240)^{2} + C\,(240)^{3}$$

zu $A = 0{,}1784897$, $B = 0{,}00014592$ und $C = -0{,}0000000353$ gefunden [1]).

Für den praktischen Gebrauch empfiehlt es sich, die mittlere specifische Wärme zwischen $+10^{0}$ (der mittleren Jahrestemperatur) und der Endtemperatur zu Grunde zu legen. Nun ist aber zur Erwärmung der Kohlensäure von -30 bis t^{0} die Wärmemenge erforderlich:

$$\lambda = A\,(t + 30) + B\,(t + 30)^{2} + C\,(t + 30)^{3},$$

bis t_1^{0} dagegen:

$$\lambda_1 = A\,(t_1 + 30) + B\,(t_1 + 30)^{2} + C\,(t_1 + 30)^{3}.$$

Folglich ist die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Erwärmung $t^{0} - t_1^{0}$ hervorzubringen, $= \lambda - \lambda_1$ und die mittlere specifische Wärme zwischen t^{0} und t_1^{0} $= \frac{\lambda - \lambda_1}{t - t_1}$. Daraus ergeben sich folgende Werthe:

Von t^{0}	bis t_1^{0}	Mittlere specif. Wärme
0	50	0,19420
10	100	0,20246
10	150	0,20914
10	200	0,21564
10	250	0,22197
10	300	0,22812
10	350	0,23409.

---

1) Regnault (Mémoires S. 129) gibt an:
$\log A = 0{,}2513462 - 1$, $\log B = 0{,}1640823 - 4$, $\log C = 0{,}5545931 - 8$.
Woher diese allerdings sehr geringe Differenz kommt, vermag ich nicht zu erklären.

Aus der Gleichung $\lambda = A\Theta + B\Theta^2 + C\Theta^3$ ergiebt sich ferner die wirkliche specifische Wärme der Kohlensäure zu $\frac{d\lambda}{d\Theta} = A + 2B\Theta + 3C\Theta^2$; folglich:

t	Specif. Wärme	t	Specif. Wärme
0°	0,18715	400°	0,28441
100	0,21464	500	0,30344
200	0,24001	600	0,32035
300	0,26327	700	0,33514

Die specifische Wärme der Kohlensäure wächst daher ganz erheblich mit der Temperatur (wenn auch die für die höheren Wärmegrade berechneten Zahlen nicht ganz sicher sind, da nur bis 210° Versuche gemacht wurden), und alle Beurtheilungen von Feuerungsanlagen, welche hierauf keine Rücksicht genommen haben, sind ungenau. Voraussichtlich wird auch die specifische Wärme der Schwefligsäure und des Wasserdampfes in ähnlicher Weise wachsen, doch liegen hierüber noch keine Versuche vor; für Stickoxydul konnte Regnault diese Zunahme nachweisen. Vom Druck ist die specifische Wärme der Gase unabhängig, wie dies Regnault für Wasserstoff, Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff nachgewiesen hat. Zur leichteren Berechnung folgt hier eine Tabelle für die specifische Wärme von gleicher Einrichtung wie die für die Gewichte der hier in Betracht kommenden Gase (S. 139).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kohlensäure (CO_2) 10 bis 100°	0,20246	0,4049	0,6074	0,8098	1,0123	1,2148	1,4172	1,6197	1,8221
" 10 " 150	0,20914	0,4183	0,6274	0,8366	1,0457	1,2548	1,4640	1,6731	1,8823
" 10 " 200	0,21564	0,4213	0,6469	0,8626	1,0782	1,2938	1,5095	1,7251	1,9408
" 10 " 250	0,22197	0,4439	0,6659	0,8879	1,1099	1,3327	1,5538	1,7758	1,9977
" 10 " 300	0,22812	0,4562	0,6844	0,9125	1,1406	1,3687	1,5968	1,8250	2,0531
" 10 " 350	0,23409	0,4682	0,7023	0,9364	1,1705	1,4045	1,6386	1,8727	2,1068
Kohlenoxyd (C O)	0,2450	0,4900	0,7350	0,9800	1,2250	1,4700	1,7150	1,9600	2,2050
Stickstoff	0,2438	0,4876	0,7314	0,9952	1,2190	1,4628	1,7066	1,9504	2,1942
Sauerstoff	0,21751	0,4350	0 6525	0,8700	1,0876	1,3051	1,5226	1,7401	1,9576
Wasserdampf	0,48051	0,9610	1,4415	1,9220	2,4026	2,8831	3,3636	3,8441	4,3245
Schwefligsäure $(SO)_2$ . . .	0,15531	0,3106	0,4659	0,6212	0,7766	0,9319	2,0872	1,2425	1,3978

E. Wiedemann[1]) hat (1876) einige dieser Bestimmungen mit folgenden Resultaten wiederholt:

	Specif. Wärme gleicher Gewichte			Specif. Wärme gleicher Volume		
	bei 0°	100°	200°	bei 0°	100°	200°
Atmosphärische Luft	0,2389	—	—	0,2389	—	—
Wasserstoff	3,410	—	—	0,2359	—	—
Kohlenoxyd	0,2426	—	—	0,2346	—	—
Kohlensäure	0,1952	0,2169	0,2387	0,2985	0,3316	0,3650
Aethylen	0,3364	0,4189	0,5015	0,3254	0,4052	0,4851
Stickoxydul	0,1983	0,2212	0,2442	0,3014	0,3362	0,3712
Ammoniak	0,5009	0,5317	0,5629	0,2952	0,3134	0,3318

Diese Versuche bestätigen die rasche Zunahme der specif. Wärmen bei allen Gasen, welche vom Mariotte'schen Gesetze abweichen. Wegen des angewendeten weniger vollkommenen Apparates ziehe ich aber vor, vorläufig die Regnault'schen Zahlen beizubehalten.

Welchen Einfluß Zusammensetzung und Temperatur der abziehenden Rauchgase auf das Ergebniß eines Heizversuches haben können, mögen folgende Beispiele zeigen. Die Analyse der Rauchgase eines mit Anthracit geheizten Kessels gab folgendes Resultat:

Zeit		Kohlensäure	Kohlenoxyd	Sauerstoff	Stickstoff	Temperatur	Bemerkungen
Uhr	Min.						
5	20	1,7	Spur	19,0	79,3	—	
	30	1,8	0	19,1	79,1	159	Rost von unten gesehen dunkel.
7	45	1,9	0	18,9	79,2	—	Zug 10 mm Wasser.
8	—	1,8	0	19,1	79,1	155	
	30	4,7	0	16,1	79,2	160	Nach dem Verputzen des Mauerwerkes.
	40	4,8	0	16,0	79,2	—	
	50	4,6	0	16,1	79,3	167	

1) Poggend. 157, *1.

Bei 4° Lufttemperatur ergaben danach die vier ersten Versuche folgende Verlustberechnung (vergl. S. 140):

	1 kg Kohle giebt cbm	kg	153 × specif. Wärme	Wärmeverlust W.-E.
Kohlensäure 1,8	1,49	2,93	32,99	97
Sauerstoff 19,0	15,73	22,50	33,28	749
Stickstoff 79,2	65,56	82,44	37,30	3075
	82,78	107,87		3921

Durch Multiplication der Gewichte der einzelnen Bestandtheile mit 153 × specif. Wärme erhalten wir somit einen Wärmeverlust von 3921 W.-E. oder bei 6700 W.-E. Brennwerth 58,5 Proc. Die drei letzten Versuche geben dagegen folgende Werthe:

	1 kg Kohle giebt cbm	kg	160 × specif. Wärme	Wärmeverlust W.-E.
Kohlensäure 4,7	1,49	2,93	34,50	101
Sauerstoff 16,1	5,11	7,31	34,80	254
Stickstoff 79,2	25,12	31,57	39,01	1231
	31,72	41,81		1586

Das in aller Eile ausgeführte Bewerfen der besonders undichten Stellen des Mauerwerkes namentlich über der Thür mit Lehm hatte demnach eine Verminderung des Wärmeverlustes von 3921 auf 1586 W.-E. oder von 58,5 auf 23,7 Proc. zur Folge. Andere Kessel geben 15 bis 40 Proc. Verlust. Ein Kessel, der kurz vorher sorgfältig nachgesehen war, gab bei der Untersuchung folgendes Ergebniß:

Zeit Uhr	Min.	Kohlensäure	Kohlenoxyd	Sauerstoff	Stickstoff	Temperatur	Bemerkungen
10	15	18,5	0	2,0	79,5	305°	6 mm Zug.
	35	19,2	Spur	0,9	79,9	—	Zug auf 1 mm ermäßigt
	45	19,0	0	1,2	79,8	206	
11	—	18,5	0	1,9	79,6		
	20	17,9	0	2,6	79,5	201	

Berücksichtigen wir nur die vier letzten Proben, so ergiebt sich bei 10° Lufttemperatur nachfolgender Wärmeverlust:

	1 kg Kohle giebt cbm	kg	194 × specif. Wärme	Wärmeverlust W.-E.
Kohlensäure 18,7	1,49	2,93	41,83	123
Sauerstoff 1,7	0,14	0,20	42,20	8
Stickstoff 79,6	6,35	7,97	47,32	377
	7,98	11,10		508

Diese Kesselfeuerung gab somit nur einen Wärmeverlust von 508 W.-E. oder etwa 7 Proc. durch die Rauchgase; ein günstigeres Verhältniß ist wohl kaum denkbar. Vergleichen wir dieses Ergebniß mit den besprochenen, berücksichtigen, daß sämmtliche Kessel genau den gleichen Rost haben und mit demselben Brennstoff beschickt wurden, auch sonst möglichst gleichmäßig behandelt wurden und doch so ungemein verschiedene Wärmeverluste durch die Rauchgase ergaben, ja daß nicht selten derselbe Kessel einmal bedeutenden Luftüberschuß und dann wieder starke Kohlenoxydbildung zeigte, so wird dadurch nur bestätigt, welch geringen Werth Heizversuche ohne Rauchgasuntersuchungen haben. Es ergiebt sich hieraus ferner, welchen Werth die verschiedenen neuen Rostconstructionen besitzen und welches Vertrauen die von den Erfindern derselben versprochenen 20 bis 30 Proc. Brennstoffersparniß verdienen. Ein passender Rost kann die richtige Leitung des Brennprocesses zwar erleichtern, z. B. Treppenrost für staubförmige Braunkohle, eine möglichst hohe Ausnutzung der Brennstoffe ist aber nur durch verständige Behandlung der Feuerung zu erzielen, und diese kann wieder nur gewährleistet werden durch zeitweise Untersuchung der Rauchgase.

Handelt es sich um genaue Feststellung sämmtlicher Verluste, so ist natürlich auch der Gehalt der Feuergase an Wasser und Schwefligsäure zu bestimmen unter Berücksichtigung des Wassergehaltes der atmosphärischen Luft.

Die bei einem Heizversuche verwendete Steinkohle hatte z. B. folgende Zusammensetzung:

Kohlenstoff	78,0
Wasserstoff	3,5
Sauerstoff	8,0
Schwefel	1,6
Stickstoff	1,1
Wasser	3,5
Asche	4,0

Bei der vollständigen Verbrennung giebt demnach 1 kg Kohle:

	kg	Dazu erforderliche Menge Sauerstoff kg
Kohlensäure 1,45 cbm oder	2,86	2,08
Wasser, durch Verbrennung	0,315	0,28
Desgl., hygroskopisches	0,035	0
Schwefligsäure	0,032	0,016
Stickstoff	0,011	0
	3,253	2,376

erfordert dazu (2,38 — 0,08 =) 2,3 kg Sauerstoff, entsprechend fast 10 kg oder 7,7 cbm atmosphärische Luft, und giebt dabei rund 7200 W.-E. (vergl. Theorie der Verbrennung). Bei 4° Lufttemperatur und 8° Thaupunkt der unter den Rost tretenden Luft gab die Untersuchung der Rauchgase im Durchschnitt von 21 Analysen:

Kohlensäure	4,9	Proc.
Kohlenoxyd	0	"
Sauerstoff	15,5	"
Stickstoff	79,6	"
Temperatur	304°	

Daraus berechnet sich in der vorhin besprochenen Weise folgender Wärmeverlust:

	1 kg Kohle giebt cbm	1 kg Kohle giebt kg	300 × specif. Wärme	Wärmeverlust W.-E.
Kohlensäure 4,9	1,45	2,86	70,23	201
Sauerstoff 15,5	4,59	6,56	65,25	428
Stickstoff 79,6	23,56	29,61	73,14	2166
Schwefligsäure	—	0,03	46,59	2
Wasser	—	0,35	144,15	87
Wassergehalt der Luft	—	0,25		
		39,60		2884

4. Der Wärmeverlust einer Dampfkesselfeuerung durch Strahlung und Leitung soll nach Scheurer-Kestner im Durchschnitt 25,5 Proc., nach anderen Angaben sogar bis 40 Proc. des Gesammtbrennwerthes betragen. Da dieser Verlust noch nicht direct bestimmt wurde, sondern nur als Differenz der übrigen mangelhaft festgestellten Werthe, so sind diese Angaben sehr unzuverlässig.

Da nun die Verhältnisse ganz anders würden, wenn man den Versuchskessel etwa als Calorimeter behandeln und ganz mit Wasser umschließen wollte, so ist eine directe Bestimmung dieses Wärmeverlustes kaum möglich. Der Zweck ließe sich aber wohl dadurch indirect erreichen, daß man unter dem Versuchskessel einen Brennstoff von gleichartiger Zusammensetzung, z. B. Leuchtgas, Erdöl, dessen Brennwerth demnach genau festgestellt werden könnte, verfeuerte und nun die übrigen Wärmeverluste genau bestimmte. Wenn man dabei die Menge der abziehenden Verbrennungsgase, sowie die Temperatur im Feuerherde genau bestimmte, so könnte man unter Berücksichtigung der mit der Temperatur veränderlichen specifischen Wärme mit Hülfe der erwähnten Linde'schen Formeln auch wohl Aufschluß über die Wärmeübertragung von den glühenden Feuergasen durch das Kesselblech zum Kesselwasser bekommen. Bis jetzt weiß man darüber noch sehr wenig (vergl. Dampfkesselfeuerungen). —

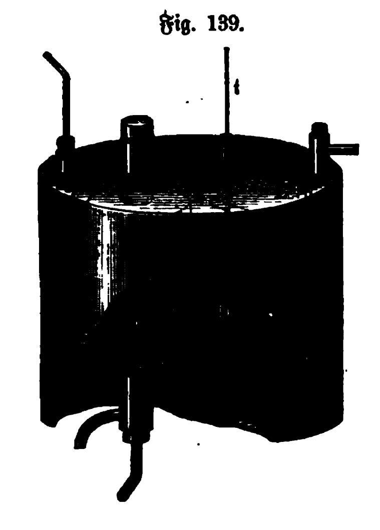
Die Brennwerthbestimmungen durch Verdampfungsversuche mit Dampfkesseln sind somit noch nicht geeignet, genaue Angaben über die bei der Verbrennung frei werdende Wärme zu erhalten. Hierzu sind kleinere Apparate nothwendig, um die verschiedenen Fehlerquellen übersehen und unschädlich machen zu können.

Die ersten Versuche, die bei der Verbrennung entwickelte Wärme mittels Calorimeter zu bestimmen, scheinen von Lavoisier und Laplace [1]) ausgeführt zu sein. In einem von Eis umgebenen irdenen Gefäße verbrannten sie 30 bis 500 g glühende Holzkohlen oder aber Wasserstoff im Sauerstoff. Sie fanden so, daß 1 Thl. Kohle im Durchschnitt 96,5 und 1 Thl. Wasserstoff 295,6 Thle. Eis schmolzen. Auch Hassenfratz, sowie Clement und Desormes [2]) verwendeten Eiscalorimeter.

Crawford [3]) verbrannte Holzkohle in einem Wassercalorimeter und fand, daß 1 Thl. Kohle 5776 Thle. Wasser von mittlerer Temperatur um 1° erwärmte und 1 Thl. Wasserstoff 37 051 Thle. Wasser. Dalton [4]) verbrannte das zu untersuchende Gas unter einem entsprechenden Wassergefäß, während Rumford [5]) 1813 die ersten vergleichenden Versuche mit Holzkohle und verschiedenen Holzarten ausführte. 1 Thl. Kohle erwärmte danach 52 bis 54 Thle. Wasser vom Schmelzpunkt bis zum Siedepunkt, 1 Thl. Holz 25 bis 40 Theile. Welter [6]) schloß (1821) aus diesen Versuchen, daß bei der Verbrennung gleiche Mengen Sauerstoff dieselben oder in einem einfachen Verhältnisse zu einander stehende Wärmemengen erzeugen — ein Schluß, der jedoch schon durch die Versuche von Despretz [7]) widerlegt wurde.

Grassi [8]) verbrannte in einem Wassercalorimeter Zuckerkohle mit Sauerstoff und fand dafür 7682 bis 7801 Wärmeeinheiten. Die ersten genaueren und umfassenden Versuche wurden jedoch von Dulong [9]) ausgeführt. Die zu untersuchenden Stoffe wurden in dem kleineren Gefäße A (Fig. 139) verbrannt, welches von einem größeren, mit Wasser gefüllten Gefäße umgeben war, dessen Temperatur durch das Thermometer t angegeben wurde. Der zur Verbrennung nöthige Sauerstoff wurde durch das Rohr B zugeführt, während die Verbrennungsproducte durch das schlangenförmig gebogene Rohr DEG entwichen. Die Gase wurden, wie die Abbildung zeigt, aus einer Spitze verbrannt, Flüssigkeiten mittels eines eingetauchten Baumwollfadens, feste Körper meist in Pulverform. Er fand so z. B. für Wasserstoff 34 601, für Kohlenoxyd 2490 W.-E. Obgleich Dulong in derselben Weise wie dies bereits Rumford gethan hatte, um den Einfluß der

Fig. 139.

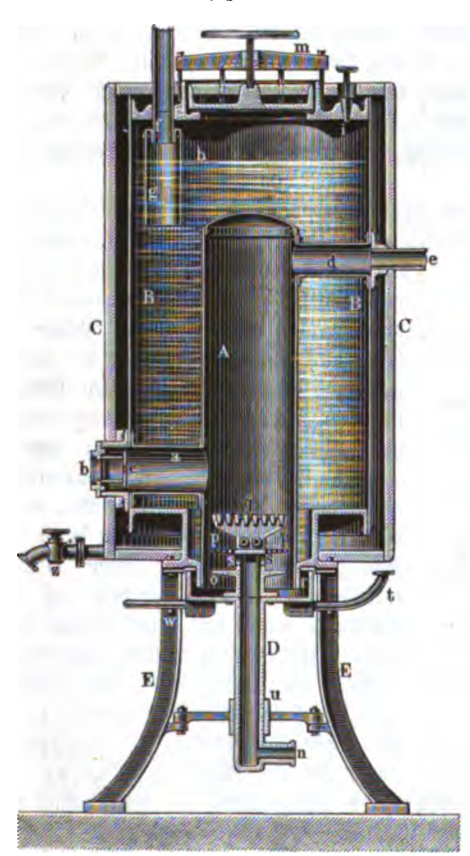


[1]) Histoire de l'Académie de France, 1781, 379. — [2]) Gehler: Physikalisches Wörterbuch, 1841, Bd. 10, S. 325. — [3]) Experiments and observations on animal heat, London 1788. — [4]) Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft, Berlin 1812, S. 87. — [5]) Gilbert's Ann. 45, 1; 46, 225. — [6]) Ann. chim. phys. 19, 425. — [7]) Ann. chim. phys. 37, 180; Poggend. Ann. 12, 519. — [8]) Journ. de phys. chim. III, Bd. 8. — [9]) Poggend. 45, 461.

Strahlung zu vermindern, das Calorimeter beim Beginne eines Versuches etwa eben so weit unter die Temperatur der Umgebung erkalten ließ, als es nach Beendigung desselben wärmer war als diese, so fielen doch einige Zahlen, z. B. für Kohlenstoff von 7295 W.-E., offenbar zu niedrig aus.

A. Ure[1]) verbrannte die zu untersuchende Kohle mit atmosphärischer Luft in einem kleinen Verbrennungsraum und ließ die heißen Gase in Röhren aufsteigen, welche in einer mit 300 bis 400 kg Wasser gefüllten Wanne befestigt waren. Sehr ähnlich war der aus Weißblech gefertigte Apparat, welchen Bargum[2]) verwendete, um den Brennwerth des Torfes festzustellen; nur stand hier der Verbrennungsraum im Wasser selbst. Deville[3]) verwendete einen kleinen Röhrenkessel. Weit vollkommener ist der Apparat von Bolley. Auf dem gußeisernen Fuße E (Fig. 140) ist der stehende Kessel B befestigt, welcher mit einer Holzbekleidung C versehen ist und den Verbrennungsraum A umschließt. Die zu untersuchenden Brennstoffe werden durch den Ansatz a auf den Rost q gebracht; die gut schließende Doppelthür b c ist mit einem Schauloch versehen, welches durch ein Glimmerblatt geschlossen ist. Das in der Decke des Kessels befindliche Mannloch m ist mit entsprechendem Bügelverschluß versehen. Das zu verdampfende Wasser wird durch die Oeffnung i eingeführt und kann aus dem Hahn z wieder abgelassen werden. Um zu verhüten, daß der durch das Rohr f entweichende Dampf Wasser mitreißt, hängt an demselben das weitere Rohr g so, daß derselbe durch den ringförmigen Zwischenraum zwischen g und f gehen muß.

Fig. 140.



[1]) Dingl. 1840, 75, *48. — [2]) Mitth. d. Gewerbv. f. Hannov. 1856, *150. — [3]) Dingl. 1869, 192, 209; 193, 124. Die während des Druckes veröffentlichten Versuche der Münchener Versuchsstation sollen am Schluß dieses Abschnittes besprochen werden.

Der Verbrennungsraum A ragt unten in eine Schale r, welche durch das Rohr t mit Wasser gefüllt wird, um so einen luftdichten Abschluß zu erreichen. Sie kann mit dem daran befestigten Rohre D in der Führung u auf- und abgeschoben werden und wird durch die Zapfen w getragen. Der Ansatz n wird durch einen Gummischlauch mit einem Gebläse verbunden, die dadurch zugeführte Luft tritt aus den seitlichen Oeffnungen s zwischen die beiden Schalen o und p und durch die Löcher der letzteren unter den Rost q. Der ganze Apparat ist 1,5 m hoch. Die durch den Ansatz d entweichenden Verbrennungsgase treten in das flache Messingrohr e, welches in einem etwa 30 cm weiten, 50 cm hohen und 2 m langen Zinktrog mit Wasser liegt. Unter Berücksichtigung der Temperatur der abziehenden Gase geschieht die Ausführung des Versuches und die Berechnung der erhaltenen Resultate wie bei den entsprechenden Versuchen mit einem Dampfkessel.

Der Wasserverschluß ist nicht empfehlenswerth; sonst dürfte sich dieser Apparat zur Anstellung größerer Versuche sehr wohl eignen, wenn die Zusammensetzung der entweichenden Gase berücksichtigt wird.

Andrews [1]) verbrannte die zu untersuchenden Stoffe in einem mit Sauerstoff gefüllten geschlossenen Kupfergefäß, welches in ein zweites Gefäß mit Wasser völlig untergetaucht war. Auch Than [2]) verwendete ein geschlossenes Gefäß, als er mittels eines Bunsen'schen Eiscalorimeters die Verbrennungswärme des Wasserstoffes bestimmte.

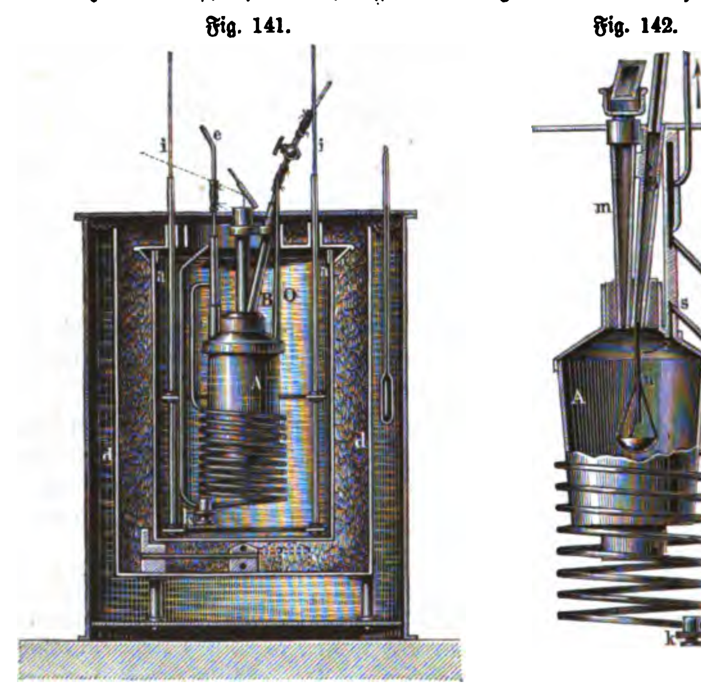
Die umfassendsten Brennwerthbestimmungen wurden jedoch (1852) von Favre und Silbermann [3]) ausgeführt. Fig. 141 (a. f. S.) zeigt den von ihnen verwendeten Apparat in $^1/_5$ natürlicher Größe, Fig. 142 den Durchschnitt desselben in $^1/_3$ natürlicher Größe, wie ihn Scheurer-Kestner [4]) bei seinen Brennwerthbestimmungen für Kohlen anwendete. Der erforderliche Sauerstoff wird durch das Rohr B in die aus vergoldetem Kupferblech hergestellte Verbrennungskammer A direct auf die schwer verbrennlichen Stoffe geleitet, bei den leichter brennbaren Körpern, welche Favre und Silbermann untersuchten, aber durch das Rohr O, während B dann verschlossen blieb, oder die zu untersuchenden Gase zuführte. Die Verbrennungsproducte entweichen durch das im Deckel mündende Rohr s, durchziehen das ganze nach unten führende Schlangenrohr mit dem kleinen Behälter k für das Condensationswasser und gehen schließlich durch das Rohr e nach den Absorptionsapparaten. Das in der Mitte des Deckels mündende Rohr m ist oben mit einer Glasplatte bedeckt, über welcher ein kleiner Spiegel steht, um von der Seite aus den Gang der Verbrennung beobachten zu können. Der ganze Verbrennungsapparat ist mit drei in der Zeichnung fortgelassenen dünnen Stangen an dem Deckel des aus Kupferblech hergestellten Wassergefäßes a befestigt. Der Deckel ist versilbert und hat entsprechende Oeffnungen für ein Thermometer, den Rührer i und in der Mitte eine große Oeffnung für die nach außen führenden

---

[1]) Pogg. 75, 27, 244. — [2]) Ber. d. chem. Ges. 1877, 947. — [3]) Ann. chim. phys. 34, *357. — [4]) Bull. Mulh. 1868, *712.

Röhrenansätze der Verbrennungskammer. Das Kupfergefäß ist außen ebenfalls versilbert, um die Wärmeübertragung zu vermindern, und ruht auf vier Korkfüßen in einem zweiten Kupfercylinder *d*, dessen Wandungen mit einem Schwanenpelz

Fig. 141. Fig. 142.



ausgekleidet sind. Dieser Cylinder steht dann wieder in einem dritten mit Wasser gefüllten kupfernen Gefäß, um dadurch die Ausstrahlung nach außen zu vermindern.

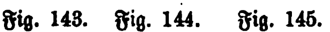
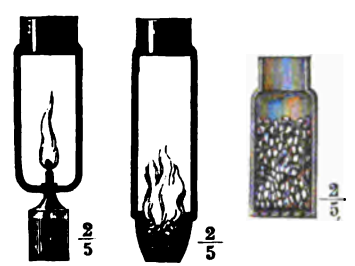


Fig. 143. Fig. 144. Fig. 145.



Für die Verbrennung der flüssigen Brennstoffe diente die kleine, etwa 2 ccm fassende kupferne Lampe, Fig. 143, für Schwefel die in Fig. 144 dargestellte; beide waren mit Platindrähten am Deckel der Verbrennungskammer befestigt. Kohlen wurden in dem kleinen Platincylinder, Fig. 145, mit durchlöchertem Boden verbrannt. Scheurer-Kestner brachte die Kohlen dagegen in die kleine Platinschale, welche mit drei Platindrähten an das Platinrohr *n* befestigt war, so daß der durch das Rohr *B* zugeführte Sauerstoff unmittelbar auf die Kohlen traf.

Der Wasserwerth des Calorimeters [1]) von Silbermann wurde in folgender Weise durch Rechnung erhalten:

2012 g Wasser	2012,000
684,603 g Kupfer (specif. W. 0,09515)	65,140
1,961 g Platin (specif. W. 0,03243)	0,064
Thermometer { 7,750 g Glas (specif. W. 0,1980)	1,540
Thermometer { 20,033 g Quecksilber (specif. W. 0,0333)	0,666
	2079,410

Bei den Untersuchungen wurde der Gehalt der entweichenden Gase an Kohlensäure und Kohlenoxyd bestimmt. Die Art der Berechnung möge folgendes Beispiel der Bestimmung des Brennwerthes von Kohlenstoff zeigen.

Bei dem Versuch wurde erhalten:

Kohlensäure	7,895 g
Desgl. durch Verbrennung des entwichenen Kohlenoxydes	1,128 „
Zusammen	9,023 g

$$\log 9{,}023 = 0{,}9553510$$
$$\log \frac{6}{22} = \bar{1}{,}4357285$$

0,3910795, folglich 2,46082 g Kohlenstoff

$$\log 1{,}128 = 0{,}0523091$$
$$\log \frac{14}{22} = \bar{1}{,}8037053$$
$$\log 2403 = 3{,}3806996$$

3,2367139, 1724,7 W.-E. für CO.

Anfangstemperatur	11,8658°
Endtemperatur	20,5478°
Temperaturzunahme	8,6820°

dazu 0,05847 Correction macht 8,74047° als eigentliche Wärmezunahme.

$$\log 8{,}74047 = 0{,}9415462$$
$$\log 2079{,}3605 = 3{,}3179307$$

somit Wärmeeinheiten: *log* 4,2594 769 = 18175,1
dazu für das entweichende Kohlenoxyd 1724,7

Gesammtwärme 19899,8

Gesammtwärme	*log* 19 899,8	= 4,2988488
Gewicht des verbrannten Kohlenstoffs	*log* 2,4608	= — 0,3910795
		3,9077693

oder 8086,7 W.-E. für 1 g Kohlenstoff.

[1]) Scheurer-Kestner giebt an

1145,651 Kupfer	109,008 g
21,810 Platin	0,706 „
Thermometer: 12 g Glas, 63 g Quecksilber	4,470 „
	114,184 g

Bei diesen Berechnungen ist somit keine Rücksicht genommen auf die specifische Wärme des Wassers bei verschiedenen Temperaturen (S. 64) und auf die Wärme, welche mit den Verbrennungsgasen entweicht (S. 146). Daß diese Fehler gemacht wurden, erklärt sich sehr leicht daraus, daß die specifische Wärme des Wassers und der Gase zur Zeit der Ausführung dieser Versuche noch nicht genau bekannt waren.

Thomsen[1]) bestimmte den Brennwerth des Wasserstoffs, indem er in eine hohle, völlig eingetauchte Platinkugel von 500 ccm Inhalt durch ein Rohr Wasserstoff, durch ein zweites den Sauerstoff einleitete, während ein drittes bestimmt war, die bei seinen Versuchen mit Chlor gebildeten gasförmigen Verbrennungsproducte abzuleiten. A. Schuller und V. Wartha[2]) verbrannten in einem kleinen Behälter elektrolytisch entwickelten Wasserstoff mit ebenfalls elektrolytisch entwickelten Sauerstoff, unter Benutzung eines Eiscalorimeters; zu bemerken ist hierbei, daß sie als Wärmeeinheit die mittlere specifische Wärme des Wassers zwischen 0 und 100° nehmen, und nicht, wie dies sonst üblich, diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 g Wasser von 0 auf 1° zu erwärmen. Für feste und flüssige Brennstoffe sind beide Apparate nicht geeignet.

Völlig abweichend von diesen Verfahren, die zu untersuchenden Brennstoffe mit freiem Sauerstoff zu verbrennen, ist das neuerdings von F. Stohmann[3]) empfohlene mit gebundenem Sauerstoff, welches bereits von Frankland[4]) bei seinen Untersuchungen über die Verbrennungswärme der menschlichen Nahrungsmittel angewendet wurde. Stohmann hat dasselbe jetzt dahin verbessert, daß er als Wasserbehälter einen Cylinder *A* (Fig. 146 und 147) von polirtem Messingblech verwendet, der auswendig versilbert und bis zur Höhe des Wasserstandes mit sechsfachem Flanell und schließlich mit einer Hülse aus Weißblech umgeben ist. Um diese Isolirschicht vor Feuchtigkeit zu schützen, wurde ein breiter Gummistreifen umgelegt.

Der Wasserwerth des Calorimeters läßt sich nach Stohmann am einfachsten dadurch finden, daß man den Apparat in seinen einzelnen Theilen zusammenstellt, wie zu einem Verbrennungsversuch, selbstverständlich ohne die zu verbrennende Mischung, ihn eine bestimmte Temperatur annehmen läßt, am bequemsten die der umgebenden Luft, und dann die gleiche Menge von Wasser wie beim Verbrennungsversuch hineinbringt, aber dem Wasser eine andere, höhere oder geringere Temperatur giebt als dem Apparat. Hat sich die Temperatur zwischen Wasser und Apparat ausgeglichen, erkennbar daran, daß der Stand des Quecksilbers im Thermometer constant wird, so hat das Wasser so viel Wärme abgegeben oder aufgenommen, wie der Apparat seinerseits aufgenommen oder abgegeben hat, und es ergiebt sich daraus die Zahl der Wärmeeinheiten, welche dem Apparat zugeführt werden müssen, um seine Temperatur um ein bestimmtes Wärmeintervall zu verändern. Z. B.: In einem Versuch war die Temperatur des Apparates = 15,99°, in denselben wurden 2000 g Wasser von 23,28° gebracht. Das Thermometer wurde stabil bei 22,80°. Die Temperatur des Wassers war daher

[1]) Pogg. 148, *180, 368. — [2]) Ann. Phys. Chem. 2, *359. — [3]) Journ. prakt. Chem. 19, *115. — [4]) Jahrber. d. Chem. 1866, 732.

erniedrigt um 0,48°. Die Temperatur des Apparates war erhöht um 6,81°. Eine Temperaturabnahme von 2000 g Wasser um 0,48° entspricht aber einem

Fig. 146.

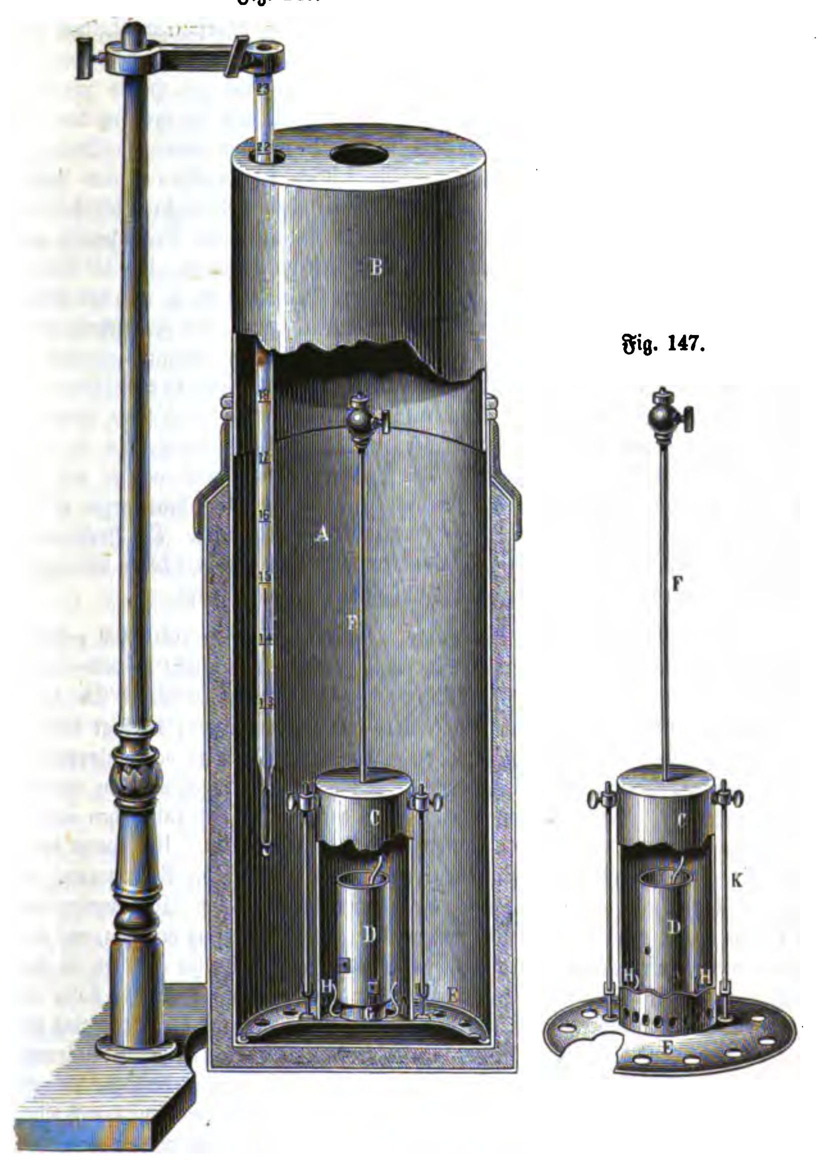


Fig. 147.

Werthe von 2000 . 0,48 = 960 W.-E. Also waren 960 W.-E. erforderlich, um den Apparat um 6,81° zu erwärmen. Oder es sind $\frac{960}{6,81}$ = 141 W.-E.

erforderlich, um den Apparat um 1° zu erwärmen. Da aber die Zuführung von 1 W.-E. 1 g Wasser um einen Grad erwärmt, so ist der Wärmewerth des Apparates nach diesem Versuch auch gleichwerthig mit dem von 141 g Wasser.

Die zu verbrennende Substanz wird mit 13,34 g chlorsaurem Kalium und 1,66 g vorher geglühtem Braunstein in dem Verhältniß gemischt, daß von dem im Kaliumchlorat enthaltenden Sauerstoff ein Drittel bis zur Hälfte zur Verbrennung ausreicht. Dieses Gemisch wird locker in den 25 mm weiten und 72 mm hohen Platincylinder *D* gebracht, dessen Boden aus einer mit Gold eingelötheten Platinplatte gebildet wird. Die seitlich angebrachten 3 mm weiten Oeffnungen, welche die später folgende Lösung des gebildeten Chlorkaliums beschleunigen sollen, werden zunächst mit kleinen Scheiben von Seidenpapier verklebt, um ein vorzeitiges Herausfallen des Gemisches zu verhüten. Um die Heftigkeit der Verbrennung zu mäßigen, giebt man dem Gemisch noch, je nach der Natur des Brennstoffes, 0,5 bis 8 g gepulverten Bimsstein hinzu. Als Zündschnur wird ein starker baumwollener Faden, der vorher mit chlorsaurem Kalium getränkt ist, etwa 5 mm tief in die Mischung hineingesenkt. Inzwischen sind in den Cylinder *A* 2 kg Wasser gebracht, dessen Temperatur nach der Rumford'schen Compensationsmethode um so viel niedriger ist wie die der Umgebung, als sie nach Beendigung des Versuches höher ist. Der Platincylinder *D* wird nun so auf dem gebogenen Blech *E* befestigt, daß er mit seinem Boden auf dem kurzen Rohrstutzen *G* ruht und von den federnden Blechen *H* gehalten wird. Die Verbindung des gleichzeitig als Rührer dienenden, am Rande mit Löchern versehenen Bleches *E* mit der Glocke *C* wird durch zwei Messingstäbe *K* bewerkstelligt.

Die angebrannte Zündschnur glimmt, nachdem man die zuerst sich zeigende Flamme ausgeblasen hat, langsam und ruhig weiter. Man läßt sie verbrennen, bis der Funken nur noch wenige Millimeter von der zu entzündenden Mischung entfernt ist, setzt dann rasch die Glocke über den Platincylinder, befestigt dieselbe an dem gebogenen Blech und stellt die ganze Vorrichtung in das Calorimeter. Nach wenigen Secunden beginnt die Verbrennung: Gase dringen aus den unteren Oeffnungen der Glocke hervor, durchwirbeln das Wasser und entweichen an der Oberfläche, wobei das Wasser häufig ziemlich hoch aufspritzt. Um einem dabei stattfindenden Verlust an Wasser vorzubeugen, wird während der Verbrennung ein cylindrischer Aufsatz *B*, von gleichem Durchmesser wie das Calorimeter und 140 mm Höhe, oben mit einer 40 mm weiten runden Oeffnung versehen, auf das Calorimeter gesetzt, von dessen Wandung das etwa verspritzte Wasser in den Apparat zurückfließt. Gewöhnlich dauert die Verbrennung etwa eine halbe bis eine Minute. Während derselben entweichen, neben der aus der Oxydation der organischen Substanz hervorgehenden Kohlensäure, dichte weiße nebelförmige Dunstmassen von Chlorkalium, die an der Wand des Apparates herabgleiten und wie dichte Wolken sich ablagern, überall, wohin sie kommen, einen weißen Anflug zurücklassend. Hat die Gasentwicklung aufgehört, so öffnet man vorsichtig den an dem Rohr *F* befestigten Hahn, damit die Gase entweichen und das Wasser in die Glocke eintritt. Die Lösung des Chlorkaliums wird durch Bewegen des kleinen Apparates befördert.

Um nun aus der erhaltenen Temperaturzunahme die Verbrennungswärme zu berechnen, sind folgende Umstände zu berücksichtigen:

a) Die Molecüle des chlorsauren Kalis zerfallen in Chlorkaliummolecüle und Sauerstoffmolecüle, ein Theil der Kraft, welche die Atome des Kaliums, des Chlores und des Sauerstoffs im chlorsauren Kali verband, wird dabei in Wärme umgesetzt. Zersetzungswärme, positiv.

b) Ein Theil des Sauerstoffs verbindet sich mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff der Substanz zu Kohlensäure und Wasser. Verbrennungswärme, positiv.

c) Das Chlorkalium löst sich unter Wärmebindung in Wasser. Wärmetönung, negativ.

d) Die Ueberwindung des Druckes, welcher den entweichenden Gasen durch die Wassersäule des Calorimeters entgegengesetzt wird, erfordert den Aufwand einer gewissen Menge von lebendiger Kraft, um deren Wärmeäquivalent die beobachtete Wärme zu gering erscheint. Also negativ.

e) Ein Theil der gebildeten Kohlensäure wird vom Wasser unter Freiwerden von Wärme gelöst, positiv.

f) Die Verbrennungsgase entweichen im mit Wasserdampf gesättigten Zustande, negativ.

g) Der Rest der Zündschnur, sowie die zum Verschluß der Oeffnungen des Verbrennungscylinders dienenden Papierscheibchen nehmen an der Verbrennung Theil. Verbrennungswärme, positiv.

h) Ein Theil des Chlorkaliums entweicht als Dunstmasse, ohne gelöst zu werden, durch das Calorimeterwasser, positiv, da der negative Effect unter c) dadurch verringert wird.

i) Unter Umständen bleibt ein Theil des Chlorkaliums bei der Bestimmung der Endtemperatur ungelöst. Positiver Effect aus gleichem Grunde wie unter h.

Sehen wir, wie weit diese Werthe sich ermitteln lassen:

a) Die Zersetzungswärme des chlorsauren Kalis bei dem Processe $KClO_3 = KCl + O_3$ ist nach Thomsen = 9713 W.-E. für 1 Grammmolecül, oder = 79,2 W.-E. für 1 g. Da in allen Versuchen 13,34 g chlorsaures Kali zur Verwendung kommen, so folgt hieraus eine Wärme von + 1057 W.-E.

b) Die Wärmetönung beim Lösen des Chlorkaliums entspricht 59,3 W.-E. für 1 g Chlorkalium. Die angewandte Menge des chlorsauren Kalis liefert bei der Zersetzung 8,12 g Chlorkalium. Die Wärmetönung beträgt daher — 482 W.-E.

c) Da die Höhe der Wassersäule, durch welche die Gase sich ihren Weg bahnen müssen, etwa 20 cm beträgt, also noch nicht den Druck einer Quecksilbersäule von 2 mm erreicht, so ist dieser Werth zu vernachlässigen, da er weit geringer ist als der Einfluß, welcher durch die Schwankungen des Luftdruckes herbeigeführt wird.

d) Von der gebildeten Kohlensäure wird ein Theil von dem Calorimeterwasser zurückgehalten. Die Menge derselben ist aber eine verschiedene, je nach der Geschwindigkeit, mit welcher die Gase durch das Wasser gehen. Bei einem Versuche, in welchem 1,5 g Stärkemehl verbrannt wurden enthielten

2000 g Calorimeterwasser 0,151 g Kohlensäure. Nach Thomsen beträgt die Lösungswärme der Kohlensäure 5880 W.-E. für 1 Grammmolecül, folglich für 1 g 134 W.-E. Nehmen wir die Zahl 0,151 g Kohlensäure als dem Durchschnitt entsprechend an, so ist hierfür eine Wärmeproduction zu rechnen von + 20 W.-E.

e) Der Wärmewerth des von den Gasen entführten Wasserdampfes ist ebenfalls keine constante Größe; er ist abhängig von der Menge der gebildeten Gase und von dem Sättigungszustand derselben. Die verwandte Menge von chlorsaurem Kali giebt bei der Zersetzung 5,22 g Sauerstoff ab, welche bei einer Temperatur des Calorimeterwassers von 20° ein Volum von 3918 ccm annehmen. Es mag die Annahme gestattet sein, daß bei jeder Verbrennung durchschnittlich ein Gasvolum von 3500 ccm verbleibe, welches sich beim Durchtritt durch das Calorimeterwasser mit Feuchtigkeit sättige. Bei einer Temperatur von 20° nimmt 1 Liter Luft 17,159 mg Wasserdampf auf, also die 3,5 Liter der entweichenden Gase 0,060 g Wasserdampf. Da die Dampfwärme des Wasserdampfes bei 20° = 592 W.-E., so entspricht die Bildung, oder, was für diese Zwecke dasselbe ist, die nicht erfolgende Condensation von 0,06 g Wasserdampf einem Wärmeverlust von — 36 W.-E.

f) Für die Menge der Substanz der Papierscheibchen und des Restes der Zündschnur kann ein Werth von 0,015 g Cellulose in Rechnung gestellt werden. Die Verbrennungswärme von 1 g Cellulose ist nach Stohmann = 4276 W.-E. Obige Menge entspricht daher einer Wärmeproduction von + 64 W.-E.

g) Zur Bestimmung des mit den Verbrennungsgasen entweichenden Chlorkalium verdampft man etwa 500 ccm des Calorimeterwassers zur Trockne und wägt den Rückstand, bestehend aus Chlorkalium und etwa unzersetzt gebliebenem chlorsauren Kali. Darin wird durch Titriren mit Silberlösung die Menge des Chlors bestimmt, welche in Form von Chlorkalium vorhanden ist. Die Differenz des Gewichtes des Trockenrückstandes und des gefundenen Chlorkaliums giebt die Menge des unzersetzt gebliebenen chlorsauren Kalis. Letzteres, auf Chlorkalium umgerechnet und zu dem durch Titriren gefundenen Chlorkalium hinzuaddirt, und die Summe beider, nachdem dieselbe für das Volum des angewandten Wassers berechnet ist, von 8,12 g, oder der Menge des dem angewandten chlorsauren Kali äquivalenten Chlorkalium abgezogen, giebt die Menge des Chlorkaliumdunstes, dessen Wärmewerth als Correction in Rechnung gestellt wird.

Positiv:	Zersetzungswärme des chlorsauren Kalis . . .	1057	W.-E.
	Lösungswärme der Kohlensäure	20	"
	Verbrennungswärme der Zündschnur ꝛc. . . .	64	"
	Zusammen .	1141	W.-E.
Negativ:	Wärmetönung des Chlorkaliums	482	W.-E.
	Wärmewerth des Wasserdampfes	36	"
	Zusammen .	518	W.-E.

Die Differenz beider Summen oder 1141 — 518 = + 623 W.-E. ist von der gefundenen Verbrennungswärme abzuziehen.

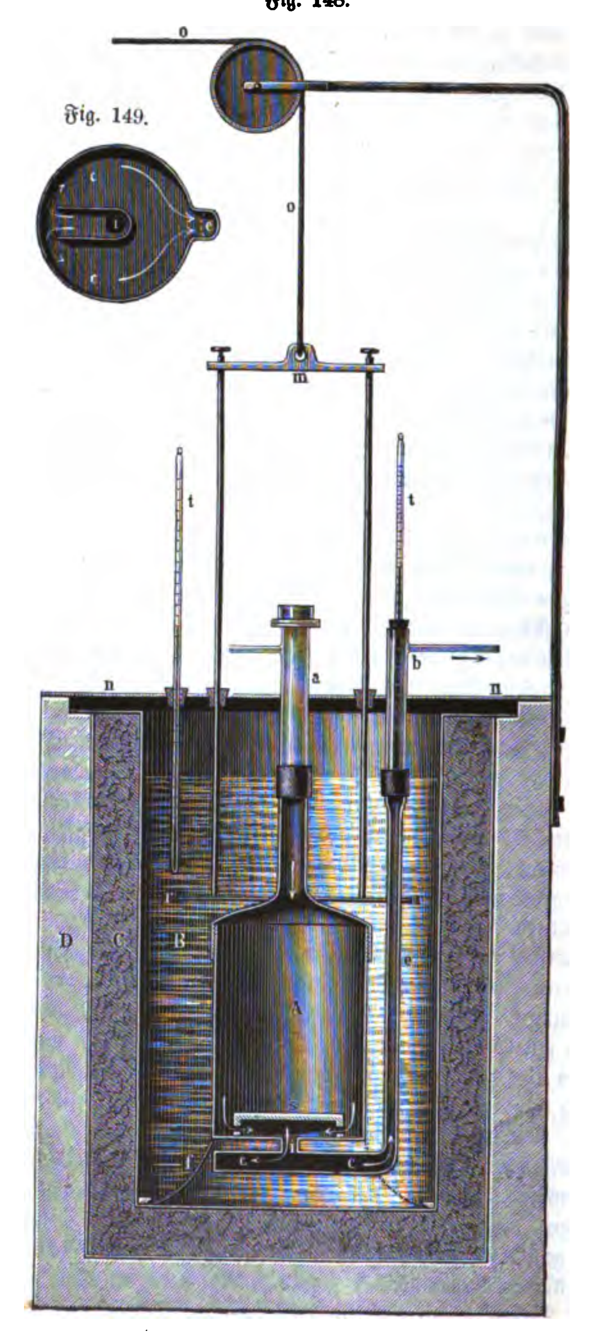
Stohmann selbst giebt an, daß man im günstigsten Falle hoffen darf, unter zehn Versuchen fünf zu haben, aus denen eine brauchbare Durchschnittszahl abzuleiten ist. Berücksichtigt man ferner, daß die Zersetzungswärme des chlorsauren Kaliums noch keineswegs sicher festgestellt ist, so wird man zugeben, daß dieses Verfahren vielleicht für Brennwerthbestimmungen von Lebensmitteln empfehlenswerth sein mag, für welche es Stohmann zunächst anwendet, daß aber für die Untersuchung der eigentlichen Brennstoffe die Verbrennung im freien Sauerstoff vorzuziehen ist.

Da die nach außen führenden Ansätze bei den Apparaten von Dulong sowie von Favre und Silbermann zu Wärmeverlusten Veranlassung geben, die Abführung der Verbrennungsproducte bei letzterem Apparat von dem Deckel aus nicht besonders empfehlenswerth ist, so habe ich mir den in Fig. 148 (a. f. S.) in $^1/_3$ natürlicher Größe im Durchschnitt dargestellten Apparat anfertigen lassen. Die in dem Verbrennungsraum *A* mit aufgeschraubtem Deckel entwickelten Verbrennungsgase gehen nach unten durch das Rohr *i* in den flachen Raum *c*, werden hier, wie der Querschnitt Fig. 149 zeigt, durch einen Einsatz gezwungen, zunächst bis an die äußeren Wandungen zu gehen, dann sich langsam durch den ganzen Raum *c* zu bewegen, um durch das flache Rohr *e* zu entweichen. Die Verbrennungskammer wird mittels der drei Füße *f* am Boden des kupfernen Kühlgefäßes *B* durch entsprechende Vorsprünge festgehalten. Der ganze Apparat ist aus 940 theiligem Silber hergestellt.

Mit dem silbernen Apparate sind in der Wasserlinie durch kurze Gummischläuche die gläsernen Ansätze *a* und *b* verbunden. Der zur Verbrennung erforderliche, völlig trockene Sauerstoff, dessen Temperatur genau bestimmt wird, tritt durch das mit einer übergreifenden eingeschliffenen Glasplatte bedeckte Rohr *a* in den Verbrennungsraum und führt so die von der Verbrennung nach oben gehende Wärme wieder nach unten, damit sie völlig vom Kühlwasser aufgenommen wird. Die durch den Ansatz *b* entweichenden Verbrennungsgase, deren Temperatur durch das Thermometer *t* bestimmt wird, gehen zur Bestimmung des gebildeten Wassers und der Kohlensäure durch entsprechende Chlorcalcium- und Kaliapparate, dann zur Bestimmung der nicht völlig verbrannten Stoffe durch ein Rohr mit glühendem Kupferoxyd und nochmals durch Chlorcalcium und Kali (S. 127). Der übrig gebliebene Sauerstoff wird zur Messung in einem Gasometer aufgefangen und kann zu einem späteren Versuche wieder verwendet werden.

Der Raum *C* zwischen dem versilberten Kupfergefäß *B* und dem Holzbehälter *D* ist mit Glaswolle gefüllt. Der versilberte Deckel *n* besteht aus zwei Hälften, deren eine zwei halbkreisförmige Ausschnitte für die Röhren *a* und *b*, eine Oeffnung für das Thermometer *t* und zwei für die versilberte Rührvorrichtung *r* hat. Um die Wärmeübertragung von diesem Rührer auf die Umgebung möglichst zu vermindern, sind die beiden letzteren Oeffnungen im Deckel mit kleinen Elfenbeinführungen ausgesetzt; außerdem sind die beiden Drähte, welche die Scheibe *r* tragen, oben in ein Elfenbeingestell *m* eingeschraubt. Zur Bewegung des Rührers geht eine Seidenschnur *o* über eine von einem Messingbügel (der hier der Deutlichkeit wegen seitlich gezeichnet ist) getragene Rolle, so daß man während eines Versuches aus 2 bis 3 m Entfernung mittels eines Kathetometers

Fig. 148.

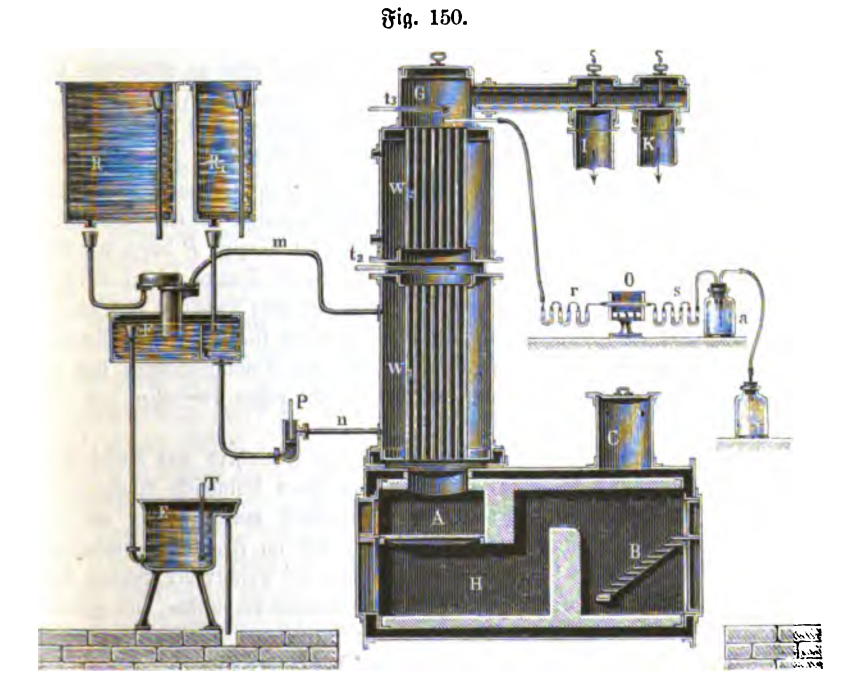


die Thermometerstände, durch einen Spiegel über dem Rohr *a* die Verbrennung beobachten und durch die Schnur *o* den Rührer in Bewegung setzen kann. Schalen, Lampen u. s. w. können im Verbrennungsraume auf einen flachen, dünnen Porcellanuntersatz gestellt werden. Die Ausführung der Versuche wird bei den einzelnen Brennstoffen besprochen werden —.

Nachtrag. Auf Anregung des Polytechnischen Vereins in München ist daselbst im Jahre 1878 eine Versuchsstation für Prüfung von Brennstoffen errichtet worden (S. 150); den Berichten von H. Bunte und J. Laurent über die Arbeiten der Station entnehmen wir folgende Angaben.

Nach der schematischen Darstellung Fig. 150 besteht die Versuchsanlage aus einem Herd *AB* und zwei über einander stehenden Röhrenkesseln. Der 3,6 m

Fig. 150.



lange, 1,3 m breite und 1,85 m hohe Herd ist für wagrechte und geneigte Roste eingerichtet; kurzflammige Kohlen werden auf der Seite *A*, langflammige auf der Seite *B* verbrannt. Das 4700 kg schwere Backsteinmauerwerk des Herdes ist mit einem Blechkasten umgeben, zwischen dessen durch Winkeleisen und Stehbolzen vertieften, 11 cm von einander abstehenden Wandungen Wasser umläuft. Die Feuerthüren sind hohl und mit dem Wasser des Herdes in Verbindung gesetzt, die Thüren der Aschenkasten sind zur Vermeidung der Strahlung mit vielen Bandeisen versehen, von denen die eine Reihe immer die Oeffnungen der vorhergehenden verdeckt und somit durch die eintretende Verbrennungsluft abgekühlt wird. Während eines Versuches wird an dem nicht benutzten Ende des Feuerherdes die Oeffnung

durch eine trockene Backsteinmauer ausgefüllt, Feuerthüren und die Thür zum Aschenkasten durch eine hohle, mit Wasser gefüllte Wand ersetzt. Das Speisewasser mündet in den mit Mannloch versehenen Dampfdom *C*, von welchem aus der entwickelte Dampf zu einem Calorimeter geleitet wird.

Die beiden Röhrenkessel von 1,2 m Durchmesser haben je 73 Rauchrohre von 50 mm Durchmesser. Der erste 2,07 m hohe Kessel W_1 hat einen Cubikinhalt von 1,9 cbm, eine Gesammtheizfläche von 24, bei normalem Wasserstande eine benetzte Heizfläche von 20 qm. Das Gesammtgewicht des Kessels beträgt 2290 kg. Der als Vorwärmer dienende zweite Kessel W_2 hat bei 1,5 m Höhe 1,3 cbm Cubikinhalt, 17 qm Gesammt- und 13 qm benetzte Heizfläche; er wiegt 1803 kg. Die Reinigung der Röhren geschieht von der mit hydraulischem Deckelverschluß versehenen Rauchkammer *G* aus. Die Rauchgase entweichen durch das Rohr *I* zu einem Luftsauger oder durch *K* unmittelbar zum Schornstein.

Um den durch Mitreißen von Wasser verursachten Fehler zu vermeiden, wird der gebildete Dampf mittelst Wasser verdichtet, dessen Temperaturzunahme die vom Kessel aufgenommene Wärme ergiebt. Zu diesem Zweck fließt aus zwei hochstehenden, durch eine Rotationspumpe stets bis zum Ueberlauf gefüllten Behältern *R* und R_1 durch im Boden angebrachte Oeffnungen eine durch Vorversuche festgestellte, stündlich etwa 3 cbm betragende Wassermenge in ein zweitheiliges Gefäß *F*. Ein Theil dieses Wassers wird mittelst der Pumpe *P* durch das Rohr *n* in den Kessel W_1 gedrückt, während der hier erzeugte Dampf wieder durch die Rohrleitung *m* nach *F* zurückkehrt und durch das aus dem Behälter *R* kommende Wasser verdichtet wird. Die vereinigten Wassermengen fließen in das Gefäß *E* mit eingesenktem Thermometer *T*. Herd, Kessel und Dampfleitungen sind jetzt mit schlechten Wärmeleitern umhüllt, was bei den 29 ersten Versuchen noch nicht der Fall war.

Zur Bestimmung der Wärmemengen, welche Feuerherd und Kessel durch Leitung und Strahlung verlieren, wurde das in ihnen befindliche Wasser durch Dampf aus einer Locomobile geheizt; das Mauerwerk wurde hierbei aus dem Kessel entfernt. Nachdem nun die Temperatur des im Feuerherde enthaltenen Wassers um einige Grade höher war als diejenige, bei welcher der Versuch stattfinden sollte, wurde der Herd mit einer Rotationspumpe verbunden, um fortwährend eine vollständige Mischung des im Herde enthaltenen Wassers zu bewerkstelligen, indem sie dasselbe aus dem unteren Theile des Herdes ansaugte, um es nach Bestimmung der Temperatur wieder nach oben zu befördern. Während 1 Stunde 45 Minuten sank die Temperatur von 66,9 auf 62,15, also um 4,75° oder stündlich 2,72°. Der Herd enthielt 2272 kg Wasser; der metallische Theil desselben besteht aus 5000 kg Schmiedeisen und Gußeisen, dessen specifische Wärme, zu 0,11 angenommen, einem Wasserwerth von 550 k entspricht, zusammen also 2822 kg. Der mit Wasser gefüllte Herd verlor demnach stündlich 2822 $\times$ 2,72 = 7700 W.-E. Die Holzverkleidung des Feuerherdes hat eine Gesammtoberfläche von 22,1 qm und eine Stärke von 6 cm, macht 1,33 cbm oder ein Gewicht von 740 kg. Die specifische Wärme des Fichtenholzes zu 0,65 angenommen, ergiebt einen Wasserwerth von 480 kg. Die Außenseite der Verkleidung hatte, wie das Kesselhaus selbst, 30°; für die innere Seite, welche die Metall-

vandungen des Herdes fast berührt, wurde die mittlere Temperatur desselben, 63°, ıngenommen. Im Mittel betrug somit der Unterschied der Temperatur der Außenluft und der mittleren Wärme der Holzverkleidung 17°, zwischen Herd und Kesselhaus 34°. Der Wärmeverlust des Herdes betrug stündlich 2,82°, weshalb ıngenommen wurde, daß die Umhüllung mit einem nur halb so großen Temperaturüberschuß stündlich 1,36° abgenommen habe, entsprechend 650 W.-E. Der Gesammtwärmeverlust des Herdes betrug demnach 8350 W.-E. Die Abkühlung des unteren Kessels wurde dadurch bestimmt, daß alle Viertelstunden die vom Manometer angezeigten Dampfspannungen abgelesen und dann nach Regnault in die entsprechenden Temperaturen umgerechnet wurden. Die stündliche Abkühlung betrug nur 5,95°. Der Kessel enthielt 977 kg Wasser, sein Eisengewicht 2290 kg, dessen specifische Wärme, zu 0,113 angenommen, 258 kg Wasser, zusammen also 1235 kg entspricht. Der mit Wasser gefüllte Kessel verlor demnach stündlich 7300 W.-E. Die Umhüllung des Kessels besteht größtentheils aus Thon, dessen specifische Wärme zu 0,23 angenommen werden kann. Die so verkleidete Oberfläche des Kessels beträgt 5,8 qm, die Stärke der Umhüllung 9 cm und ihr Gesammtgewicht nach Angabe des Fabrikanten 850 kg, entsprechend einem Wasserwerth von 195 k. Die Außenseite der Umhüllung hatte etwa 60°, die innere Seite wurde gleich der des Kessels zu 145° angenommen, entsprechend einer mittleren Temperatur von 102,5° Der Ueberschuß dieser Mitteltemperatur über die Außenluft beträgt somit 72,5°. Macht man nun die gleiche Annahme wie beim Feuerherd, so ergiebt sich, daß, während der Kessel mit einem Temperaturüberschuß von 115° stündlich 5,95° verlor, die Umhüllung eine Temperaturabnahme von 3,75° gehabt haben wird, entsprechend 731 W.-E. Danach ergiebt sich der Gesammtwärmeverlust zu 8031 W.-E. Der in gleicher Weise bestimmte Wärmeverlust des oberen Kessels ergab 3726 W.-E. Zur Bestimmung der beim Oeffnen der Feuerthüren durch Ausstrahlung verlorenen Wärmemenge wurde die Wärme gemessen, welche die geschlossenen Feuerthüren in Folge der Strahlung des Rostes gegen dieselben aufnehmen. Zu diesem Zweck wurde das Schutzblech, mit welchem sie sonst versehen sind, entfernt und die innere Seite gut geschwärzt. Die von den Feuerthüren aufgenommene Wärme wurde nun in der Art bestimmt, daß die Temperatur des Wassers beim Eintritt wie beim Austritt aus den Thüren, sowie die gesammte während der Dauer des Versuches durchströmte Wassermenge gemessen wurde. Auf diese Weise wurde festgestellt, daß die beiden Thüren stündlich nur 8800 W.-E. aufnehmen, so daß, da die Thüren während einer Stunde nur zwei Minuten lang offen sind, dieser Verlust vernachlässigt wurde.

Zur Untersuchung der Rauchgase wurden dieselben zunächst durch Absorptionsröhren r geleitet, welche Kohlensäure mit Wasser zurückhalten, dann durch ein Rohr O mit glühendem Kupferoxyd, um Wasserstoff und Kohlenoxyd zu verbrennen, so daß das gebildete Wasser und Kohlendioxyd von den Röhren s zurückgehalten wurde, der Stickstoff und die überschüssige Luft sich aber in der etwa 201 fassenden Flasche a sammelten. Die Temperatur t_3 wurde mit Quecksilberthermometer, t_2 aber mit einem Metallpyrometer von Oechsle und einem elektrischen Pyrometer von Siemens (S. 50) bestimmt. Unter Benutzung dieser Temperaturen konnte mit der Linde'schen Formel, wie vorauszusehen war (S. 141),

kein brauchbares Resultat erzielt werden, so daß die Rauchgasmengen lediglich auf Grund der chemischen Analyse berechnet wurden.

Vor Beginn eines jeden Versuches wurde geheizt, bis nach zwei bis vier Stunden die Anlage in allen ihren Theilen den Beharrungszustand erreicht hatte und die Calorimeter eine nahezu constante Temperatur zeigten. Von Zeit zu Zeit wurden aus dem Rauchkanal Gasproben auf ihren Kohlensäuregehalt untersucht und danach der Rauchschieber so lange gestellt, bis der beabsichtigte Kohlensäuregehalt erreicht war. Nun wurden die auf dem Rost liegenden glühenden Kohlen in einen tarirten eisernen Kasten gebracht, gewogen, wieder auf den Rost gegeben und von da ab die Menge des aufgeworfenen Brennmaterials genau bestimmt. Die am Schluß des Versuches noch vorhandenen glühenden Kohlen wurden zurückgewogen.

Als Beispiel der Berechnungen möge folgender Versuch mit Ruhrkohlen angeführt werden. Bei 0,4 qm eines grobspaltigen Planrostes, einer Kohlenschicht von 20 cm, welche alle zehn Minuten ergänzt wurde, ergaben sich innerhalb sieben Stunden:

	kg	
Glut am Anfang des Versuches	6,5	Kohle
Aufgegeben während des Versuches	172,3	„
Am Ende lag auf dem Rost	26,2	„
Somit verbrannt im Ganzen	152,6	„
Stündlich verbrannt	21,8	„

Das Gewicht der Asche im Aschenfall betrug 15,3 Proc. der verbrannten Kohle. Die mittlere Temperatur des Calorimeters des Herdes betrug 31,5°, des Kessels 33,1 und des Vorwärmers 23,3°, die Temperatur des Condensationswassers 9,3°, der Rauchgase nach dem ersten Kessel (t_2 =) 380°, nach dem zweiten Kessel (t_3 =) 243°, des Kesselhauses 19°.

Durch die Calorimeter flossen stündlich folgende Wassermengen: Calorimeter des Feuerherdes 962 l, des Kessels W_1 2973 l, des Kessels W_2 1079 l.

Danach berechneten sich folgende Werthe:

		W.-E.
1) Feuerherd:	Vom Calorimeter aufgenommen 7 × 962 (31,5 — 9,3) =	149 495
	Im Calorimeter geblieben 92 (29 — 26,2) = ...	258
	Im Herd geblieben 2660 (28,5 — 43,5) = ...	—40 032
	Strahlung des Herdes 7 × 500 = ...	3 500
	„ des Calorimeters 7 × 350 = ...	2 450
	Zusammen	115 671
2) Kessel W_1:	Vom Calorimeter aufgenommen 7 × 2973 (33,1 — 9,3) =	495 302
	Im Carlorimeter geblieben 252 (31,2 — 21) = ...	2 570
	Dampfverbrauch der Maschine 7 × 900 = ...	6 300
	Strahlung des Kessels 7 × 7068 = ...	49 476
	„ des Calorimeters 7 × 350 = ...	2 450
	„ des Wasserbehälters 7 × 250 = ...	1 750
	Zusammen	557 848
3) Vorwärmer W_2:	Vom Calorimeter aufgenom. 7 × 1079 (23,3 — 9,3) =	105 742
	Im Calorimeter geblieben 252 (21,5 — 12) = . .	2 394
	Im Kessel geblieben 99 × 0,28 (100 — 9,6) = . .	—2 506
	Strahlung des Kessels 7 × 3872 = ...	27 104
	Zusammen	132 734

Nach den Formeln von Linde würde sich ein Wärmeverlust durch die Rauchgase ergeben von $132\,734 \frac{243 - 19}{380 - 243} = 217\,025$ W.-E. und eine Anfangstemperatur von $380 + \frac{3656}{870} (380 - 243) = 955^0$.

Die während $5^1/_2$ Stunden abgesaugten Rauchgase enthielten:

Kohlensäure	6,12
Kohlenoxyd	0,89
Wasserstoff	0,10
Sauerstoff	14,21
Stickstoff	78,68

Bunte stellt nun folgende Berechnung an:

1 cbm Kohlenoxyd oder Kohlensäure enthält 0,5364 kg Kohlenstoff, 1 cbm der obigen Rauchgase somit (0,0612 + 0,0089) 0,5364 = 0,0376 kg. Die verbrannte Ruhrkohle enthielt:

Kohlenstoff	81,60
Wasserstoff	4,21
Sauerstoff und Schwefel	5,48
Asche	6,04
Wasser	2,67

1 kg Kohle enthielt somit 816 g Kohlenstoff, so daß dafür 816 : 37,6 = 21,7 cbm trockene Rauchgase nach dem Schornstein entweichen. Die Temperatur derselben war 224^0 höher als die äußere Luft, deren specifische Wärme, zu 0,307 angenommen, einen Wärmeverlust von 0,307 × 21,70 × 224 = 1492 W.-E. für 1 kg Kohle giebt. Das hygroskopische Wasser und Verbrennungswasser erfordert bei 100^0 für 1 kg Kohle 0,4059 × 637 = 259 W.-E., die weitere Erwärmung auf 224^0 = 0,475 × 124 × 0,4059 = 24 W.-E., somit ergiebt sich ein Gesammtwärmeverlust durch die Rauchgase von 1492 + 283 = 1775 W.-E. Die Verbrennungswärme von 1 cbm Wasserstoff zu 3088 W.-E., von 1 cbm Kohlenoxyd zu 3007 W.-E. angenommen, ergiebt für die unvollständige Verbrennung einen Wärmeverlust von 0,0089 × 3007 = 26,76 W.-E. für Kohlenoxyd und 0,001 × 3088 = 3,09 W.-E. für Wasserstoff, oder für 1 kg Kohle das 21,7 fache, somit 647 W.-E., daher Gesammtverlust durch die Rauchgase 2422 W.-E. Die Asche enthielt für 1 kg Kohle 40,95 g Koks, ergab somit 40,95 × 80,8 = 331 W.-E. Wärmeverlust, so daß der Gesammtbrennwerth der Kohle 8037 W.-E. betrug.

Auf die mehrfachen Angriffe von A. Wagner[1]) gegen diese Versuche kann nur verwiesen werden, da sie Verfasser nicht ganz für zutreffend hält. Zu bedauern ist jedoch, daß zu diesen mit so großem Aufwand an Arbeit und Geld ausgeführten Versuchen, anscheinend nur der unglücklichen Linde'schen Formel zu Liebe, eine so schlechte Kesselconstruction gewählt wurde. Während sonst bei jeder rationellen Feuerung die Gase wenigstens einmal durch Herunterführen gestaut werden, steigen sie hier in den Röhren des Kessels und Vorwärmers unmittelbar nach oben, ohne irgend welche Gelegenheit zu haben, sich vorher gehörig zu mischen, so daß es sehr zweifelhaft ist, ob die Gasproben wirklichen Durchschnittswerthen entsprechen; daß außerdem die Bestimmung der durch Leitung und Strahlung verlorenen Wärme in hohem Grade mangelhaft ist, bedarf keines besonderen Nach-

[1]) Deutsch. Industrieztg. 1880, S. 155, 314; Zeitschr. f. analyt. Chem. 1880, 434.

weises. Wenn auch die ganze Versuchsanordnung für spätere Untersuchungen manchen werthvollen Fingerzeig giebt und die von H. Bunte ausgeführten Analysen sehr beachtenswerth sind, so wird man doch bei späteren Brennwerthbestimmungen vor allen Dingen sich nach einer besseren Kesselconstruction umzusehen haben (vergl. S. 148).

Für genaue Brennwerthbestimmungen wird man wohl immer auf die noch mehrfach zu erwähnenden kleinen Calorimeter (S. 159) zurückgreifen müssen.

Untersuchung der atmosphärischen Luft.

Bekanntlich besteht die atmosphärische Luft aus etwa vier Theilen Stickstoff und einem Theil Sauerstoff, gemischt mit wechselnden Mengen Wasserdunst und Kohlensäure, oft auch mit Industriegasen, Fäulnißstoffen u. dgl. Von diesen regelmäßigen Bestandtheilen der Atmosphäre ist wohl am häufigsten der Feuchtigkeitsgehalt festgestellt, oft auch die Kohlensäure bestimmt, seltener der Sauerstoff, während man den verschiedenen Verunreinigungen erst in neuerer Zeit mehr Aufmerksamkeit zuwendet.

Bestimmung der Feuchtigkeit. Die zur Feststellung der Menge des in der atmosphärischen Luft als unsichtbares Gas vorhandenen Wassers bis jetzt bekannten Verfahren gründen sich im Wesentlichen: 1) auf die Anwendung Wasser anziehender oder abgebender Stoffe, indem man die Veränderungen der Farbe, des Volums, der Temperatur oder des Gewichtes der Körper selbst, oder aber die Volumveränderung der atmosphärischen Luft bestimmt; 2) auf die Bestimmung des Thaupunktes.

Das Aufstellen mit Kobaltlösung getränkter künstlicher Blumen (sogen. Barometerblumen u. dergl.), um aus deren Farbenveränderung auf den Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre zu schließen, ist lediglich Spielerei —.

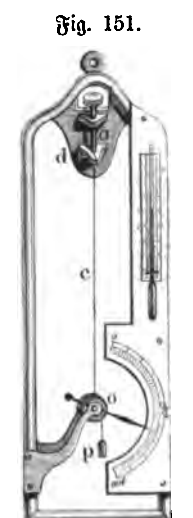
Die Erfahrung, daß sich eine ganze Reihe von Körpern in feuchter Luft ausdehnen und in trockener Luft zusammenziehen, ist so alt, als man Thüren, Schubladen u. dergl. aus Holz herstellt, oder Darmsaiten, Stricke und Papier kennt. Die ältesten Einrichtungen dieser Art haben Leupold[1]) und Wolf beschrieben. An dem einen Ende einer um eine Rolle gelegten Hanfschnur oder Darmsaite hing ein kleines Gewicht mit einem Zeiger, welcher sich vor einer entsprechenden Gradeintheilung auf und ab bewegte, während Molyneux (1685) den bekannten Mann mit Regenschirm, Frau mit Sonnenschirm an einer Darmsaite aufhing. Minder gut war das Hygrometer von Sturm[2]), besser das von Lambert[3]),

[1]) Theatrum aerostaticum, p. 288. — [2]) Collegium curiosum (Nürnberg 1676). — [3]) Hygrometrie (Augsburg 1874).

welche ebenfalls Beide Darmsaiten verwendeten. Delancé[1]) hing einen Papierstreifen zwischen zwei Säulen auf, der in der Mitte ein kleines Gewicht mit Zeiger trug. Smeaton[2]) befestigte eine mit Salzwasser gekochte meterlange Hanfschnur an einen mit 250 g Gegengewicht beschwerten, 30 cm langen Zeiger, welcher sich vor einem in 100° getheilten Bogen bewegte. Als Nullpunkt bezeichnet er die Zeigerstellung an einem trocknen Tage in der Nähe eines mäßigen Feuers, während der Sättigungspunkt durch Befeuchten der Schnur mit Wasser gefunden wurde. Chiminello[3]), welcher im Jahre 1783 die diesbezügliche Preisfrage der kurpfälzischen Akademie der Wissenschaften zu Mannheim löste und als Hygrometer einen mit Quecksilber gefüllten Federkiel verwendete, glaubt den Nullpunkt noch bei mittlerer Trockenheit der Atmosphäre und 31° Wärme, den Sättigungspunkt aber durch Eintauchen in Wasser zu finden. J. Baptiste, der einen Zeiger durch einen Streifen Goldschlägerhäutchen in Bewegung setzt, verwendet zur Bestimmung des Nullpunktes in derselben Weise 62° warme Luft.

Maignan benutzte schon im vorigen Jahrhundert die Ausdehnung und Zusammenziehung einer Granne vom Wildhafer; während Simmon[4]) die Ausdehnung eines Holzstabes beobachtet, de Lüc[5]) die eines Stäbchens aus Elfenbein, oder später aus Fischbein; er bestimmt den Nullpunkt zuerst in der mittelst gebrannten Kalkes getrockneten Luft. Benoit[6]) klebt einen Papierstreifen auf eine Metallfeder, Delacombe[7]) einen Holzstreifen, um das verschiedene Verhalten der Pflanzenfaser und des Metalles gegen Feuchtigkeit zu benutzen, natürlich ohne irgendwie brauchbare Angaben erzielen zu können. Wolpert[8]) läßt das freie Ende eines Strohhalmausschnittes sich vor einer Scala bewegen, welche direct die procentische Feuchtigkeit angiebt. Der kleine Apparat scheint weniger gut zu sein als die besseren Haarhygrometer (S. 170).

Fig. 151.



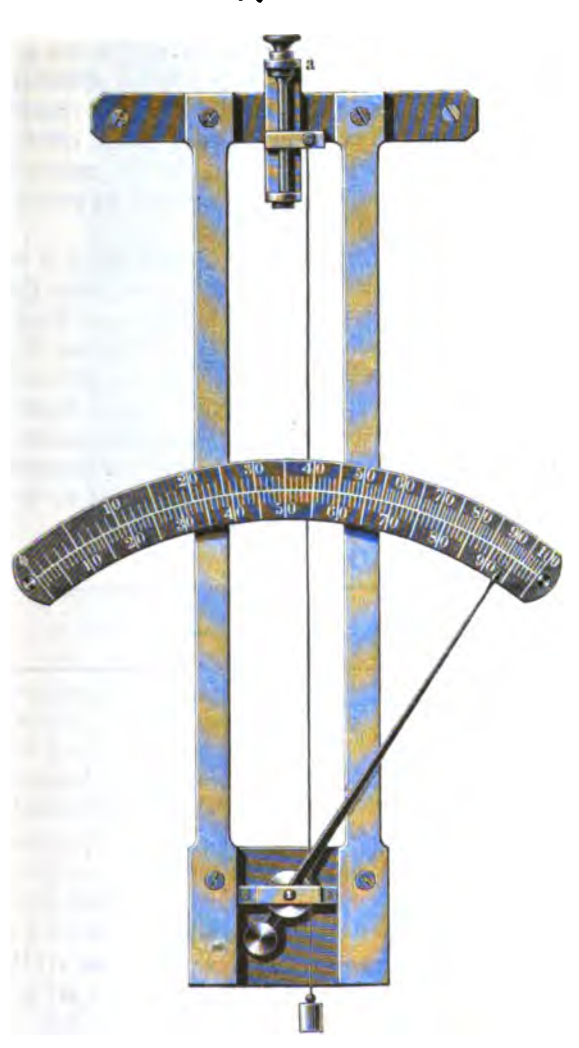
Saussure[9]) verwendete zuerst ein gereinigtes, blondes Menschenhaar, welches einen Zeiger mit kleinem Gegengewichte in Bewegung setzte (Fig. 151). Er bestimmte den Nullpunkt in einer durch Potasche getrockneten Luft, den Sättigungspunkt unter einer mit Wasser befeuchteten Glasglocke. Das oben durch die Stellschrauben *a* und *d* befestigte Haar *c* geht unten über die kleine Rolle *o*, in deren zweiter Rinne eine Schnur mit Gegengewicht *p* läuft, welches das Haar gespannt erhält. Der mit der Axe der Rolle verbundene Zeiger bewegt sich so vor einem

---

[1]) Traité des baromètres, thermomètres et hygromètres (Amsterdam 1688). — [2]) Philosophical Transactions, 1771, Bd. 61, S. 24. — [3]) J. C. Fischer: Physikalisches Wörterbuch (Göttingen 1799), Bd. 2, S. 983. — [4]) Dingl. 1848, **107**, *338. — [5]) Philosophical Transactions, 1773, 63, 38; 1791, 81, 1; Gren's Journal der Physik, 5, 279; 8, 171. — [6]) Dingl. 1830, **35**, *252. — [7]) Dingl. 1831, **41**, 104. — [8]) A. Wolpert: Ventilation und Heizung (Braunschweig 1880), S. *149; Dingl. 1877, **226**, 236, 636. — [9]) Versuch über die Hygrometrie, übersetzt von Titius (Leipzig 1784). Rozier's Journal de physique, Januar 1788.

Gradbogen, daß er in einem mit Feuchtigkeit gesättigten Raume auf 100, in trockner Luft auf 0 steht.

Fig. 152.



Unwesentlich ist die von Babinet[1]) angegebene Verbesserung, während Hermann und Pfister[2]) diesem Apparat die durch Fig. 152 versinnlichte Form geben. Die obere Scala giebt hier direct die relative Feuchtigkeit in Procenten,

---

1) Dingl. 1824, 14, *293; 15, 378. — 2) Carl's Repertor. 1870, S. 117; Dingl. 1870, 196, *504.

die unteren aber die Saussure'schen Grade (vergl. S. 172). Der von Meyn [1]) construirte Apparat giebt ebenfalls die relative Feuchtigkeit in Procenten an.

Koppe [2]) hält das in einem Rahmen von etwa 20 cm Länge eingezogene Haar durch eine kleine Spiralfeder aus Neusilber gespannt, deren Kraft dem Gewichte von 0,5 g entspricht. Das Hygrometer ist in ein Blechkästchen gestellt, welches vorn durch eine Glasscheibe, hinten durch einen Schieber geschlossen werden kann. Vor letzterem ist ein mit dünnem Zeug bespannter Rahmen eingeschoben, welcher mit Wasser getränkt wird. Man stellt nun den Zeiger erforderlichen Falles mittelst eines beigegebenen Schlüssels genau auf 100° ein, entfernt dann Schieber, Gewebe und Glas, worauf man nach einigen Minuten die procentische Feuchtigkeit ablesen kann.

Folgende Tabelle zeigt eine Reihe zu verschiedenen Zeiten in meinem Garten ausgeführter vergleichender Beobachtungen. Die beiden ersten Hygrometer von Klinkerfues hatte ich von Lambrecht in Göttingen direct bezogen, das dritte aus einem hiesigen Laden entnommen, das Koppe'sche von Goldschmid in Zürich erhalten, das Wolpert'sche von meinem Bruder (Sammlung der techn. Hochschule). Die Apparate 1, 2, 3 und 5 wurden vorher sorgfältig eingestellt, beim vierten fehlte hierzu die Vorrichtung. Zur gewichtsanalytischen Bestimmung wurde die Luft durch ein U-Rohr angesaugt, welches mit Schwefelsäure benetzte Glasperlen enthielt. Des bequemeren Vergleichs wegen sind die Angaben sämmtlich auf Procente der relativen Feuchtigkeit berechnet.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
1. Koppe	49	45	50	78	82	81
2. Klinkerfues 1	52	49	53	77	80	83
3. „ 2	53	51	53	74	83	86
4. „ 3	42	34	39	52	64	69
5. Wolpert	40	59	59	58	76	68
6. Fischer (S. 178)	50	48	49	—	—	82
7. Regnault	—	49	—	76	—	—
8. Gewichtsanalytisch . . .	51	—	—	79	86	—
9. August	52	53	55	59	70	—
Temperatur	18,2°	17,1°	9,3°	— 1,8°	+ 1°	— 1°

Darnach sind die mit einem sorgfältig ausgeführten Koppe'schen Hygrometer erhaltenen Angaben hinreichend genau.

H. Rietschel [3]) verwendet das Haarhygrometer zur selbstthätigen Regulirung seines Luftbefeuchtungsapparates; die Figuren 153 u. 154 zeigen diesen

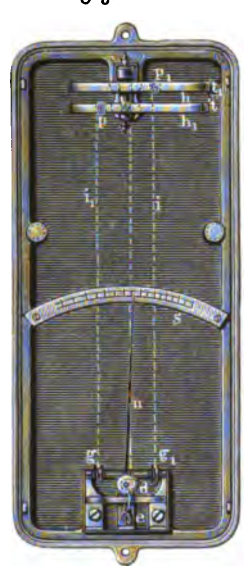
[1]) Dingl. 1878, 227, *364. — [2]) Dingl. 1877, 226, *297. — [3]) Dingl. 1880, 235, *113.

„hygroskopischen Schlüssel“ in Schnitt und Ansicht. Zwei Haare i und i_1 sind mit beiden Enden an den Bolzen p und p_1, die in Hebeln h und h_1 stecken, befestigt. Die Gewichte der Hebel sind so vertheilt, daß die in Bezug auf Fig. 154 rechts liegende Seite des Hebels h nach oben, die gleichliegende Seite des Hebels h_1 dagegen nach unten sich zu drehen bestrebt ist. In den Schleifen der Haare i und i_1 ruhen die an gemeinschaftlicher Stange befestigten Rollen g, g_1. Sie werden unter Vermittelung dieser Stange durch Arme k, welche an der Rückwand des Apparates gelagert sind, geführt, so daß sie durch die Spannung der Haare gehoben werden können, ohne dabei in Schwankungen zu gerathen. Die Stange $g g_1$ ruht auf einer unrunden Scheibe d. Sobald nun die Haare i und i_1 durch Austrocknen sich verkürzen, so wird zunächst, da die Rollen g und g_1 etwas schwerer sind als die auf die Bolzen p und p_1 bezogenen Belastungen der Hebel h und h_1, eine Drehung der Hebel erfolgen, bis die Enden derselben, die Punkte t und t_1, sich berühren, wodurch, da sie mit den Polen einer Batterie verbunden sind, der Batteriestrom geschlossen wird. Verkürzen sich die Haare i und i_1 noch mehr, so werden die Rollen g und g_1 ohne Schwierigkeit gehoben; es kann also eine Ueberspannung der Haare nicht eintreten. Durch Drehen der unrunden Scheibe d, also durch Erhöhen oder Senken des Stützpunktes der Rollen g und g_1 vermag man die Berührung der Punkte t und t_1 früher oder später herbeizuführen; ein mit d verbundener Zeiger n vermittelt das Erkennen der Lage der unrunden Scheibe d an dem Gradbogen s. Man vermag hiernach den hygroskopischen Schlüssel auf den gewünschten Feuchtigkeitszustand einzustellen.

Fig. 153.



Fig. 154.



Zur Prüfung der Thätigkeit dieses hygroskopischen Schlüssels ist ein gewöhnliches Saussure'sches Hygrometer mit ihm verbunden. Dasselbe besteht aus dem Haar, welches an der Schraube q und unten an einer Rolle befestigt ist; mit der Axe dieser Rolle dreht sich ein Zeiger n über dem Gradbogen s_1. Das kleine Gegengewicht e hängt an einem Faden, welcher auf eine neben der Rolle des Haares befestigte Rolle gewickelt ist und dem Haar eine gleichmäßige Spannung giebt.

Gay-Lussac hat für eine mittlere Temperatur bestimmt, welcher relativen Feuchtigkeit der Luft die Grade des Saussure'schen Hygrometers (S. 168) entsprechen; er giebt folgende Tabelle:

0°	=	0,00	relative Feuchtigkeit
10	=	4,57	" "
20	=	9,45	" "
30	=	14,78	" "
40	=	20,78	" "
50	=	27,79	" "
60	=	36,28	" "
70	=	47,19	" "
80	=	61,22	" "
90	=	79,09	" "
100	=	100,00	" "

Da die Zahl der Grade des Saussure'schen Haarhygrometers der Verlängerung proportional ist, welche das Haar durch Feuchtigkeit erlitten hat, so sieht man, wie der betreffende Ausdehnungscoëfficient sich mit dem Procentsatz relativer Feuchtigkeit ändert, und kann man nach W. Klinkerfues in Göttingen (D. R. P. Nr. 3366) aus obigen Zahlen eine wichtige Eigenschaft jenes Coëfficienten ableiten. Die der Ausdehnung proportionale Anzahl der Grade, welche mit y bezeichnet werden mag, läßt sich nämlich durch folgende Formel als Function des Feuchtigkeitsprocesses p darstellen:

$$y = 126{,}91 - 47{,}901 \, cotg \, (0{,}400^0 p + 20{,}68^0),$$

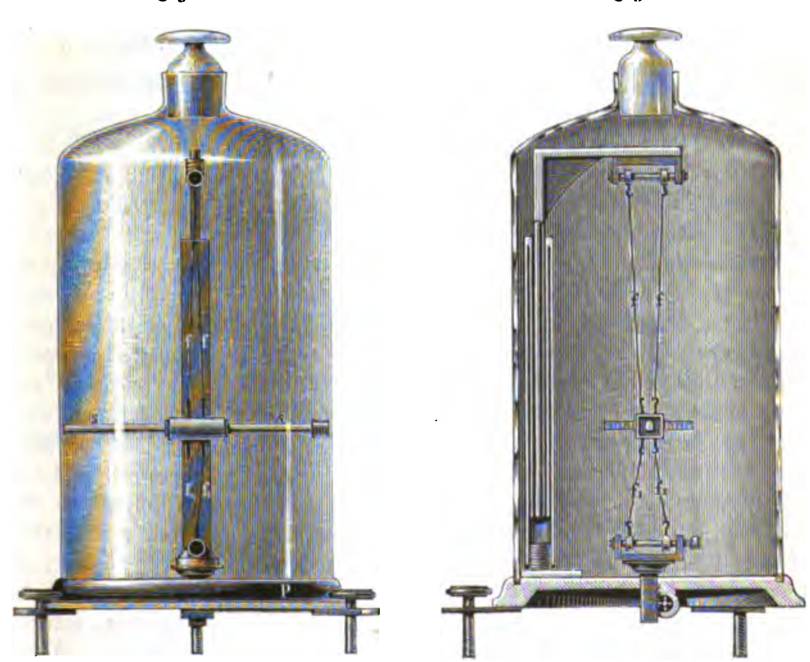
woraus sich dann ergiebt, daß der Ausdehnungscoëfficient dem Quadrate des Ausdruckes $sin \, (0{,}400^0 \, p + 20{,}68^0)$ umgekehrt proportional ist. Es scheint sich die Voraussetzung zu bewahrheiten, daß diese Eigenschaft immer für eine ganze Art von Haaren giltig bleibt, nur daß die Zahlencoëfficienten von Art zu Art wechseln. Daß der Ausdehnungscoëfficient durch Feuchtigkeit sehr nahe gerade in der angegebenen Weise veränderlich ist, hat für das neue Hygrometer dieselbe Bedeutung, welche die ebenfalls nur sehr angenähert stattfindende Unveränderlichkeit des Ausdehnungscoëfficienten der meisten Körper durch Wärme für die Thermometer besitzt. Die obige Formel läßt höchstens einen Fehler übrig, welcher an einer wenig gebrauchten Stelle der Scala 1,61 Procent der Feuchtigkeit erreicht und der selbst für die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen nicht sehr in Betracht kommt.

Man denke nun nach Fig. 155 ein Stäbchen ss an zwei hygroskopischen Fäden f bifilar aufgehängt, gleichzeitig aber durch zwei andere solcher Fäden f_1 verhindert, ganz der Torsion der ersten Fäden nachzugeben. Die Ruhelagen, nach welchen die sich entgegenwirkenden Torsionen streben, sollen senkrecht zu einander sein, daß also, wenn z der Torsionswinkel der unteren Torsion ist, der der oberen durch $90^0 - z$ ausgedrückt wird. Die von letzterer ausgeübte Directionskraft läßt sich demnach ausdrücken durch $c_1 \, sin \, z$, die der ersteren durch $c \, cos \, z$, wenn c_1 und c die Maximalwerthe dieser Kräfte bezeichnen. Soll sich das Stäbchen unter dem Einflusse beider Kräfte im Gleichgewichte befinden, so muß $c_1 \, sin \, z - c \, cos \, z = 0$, d. h. es muß $cotg \, z = \frac{c_1}{c}$ erfüllt sein[1]). Erleidet

[1]) Bezüglich der Theorie dieses Apparates vergl. auch Dingl. 1877, 226, 100.

nun die Größe $\frac{c_1}{c}$ aus irgend welcher Ursache, z. B. durch die Einwirkung von Feuchtigkeit auf die hygroskopischen Fäden eine kleine Variation $\delta \frac{c_1}{c}$, geht also in $\frac{c_1}{c} + \delta \frac{c_1}{c}$ über, so geht auch entsprechend der Torsionswinkel z in $z + \delta z$ über und man hat $cotg\,(z + \delta z) = \frac{c_1}{c} + \delta \frac{c_1}{c}$ oder mit Rücksicht auf die Kleinheit von δz, die ihre höheren Potenzen zu vernachlässigen erlaubt, $\delta z = - \sin z_2 \, \delta \frac{c_1}{c}$. Die Größen c_1 und c hängen u. a. nach den Torsionsgesetzen von der Länge und von dem Abstande von je zwei Fäden eines Paares ab. Die Va-

Fig. 155. Fig. 156.



riation oder das Increment $\delta \frac{c_1}{c}$ ist also hier als eine Function der Ausdehnungen anzusehen, welche die Fäden durch Feuchtigkeit erleiden, und zwar mit Rücksicht auf die Kleinheit dieser Größen als eine linäre Function. Man kann daher nach Obigem setzen:

$$\delta \frac{c_1}{c} = \frac{\gamma \, \delta p}{\sin\,(0{,}400^0\, p + 20{,}68^0)^2},$$

wobei γ eine Constante, δp das Increment der relativen Feuchtigkeit bedeutet, durch welches die Störung des Gleichgewichtes der beiden Torsionen veranlaßt wird. Substituirt man den oben gefundenen Ausdruck von $\delta \frac{c_1}{c}$ in der Gleichung für δz, so wird:

$$\delta z = \sqrt{\frac{\sin z^2 \gamma \delta p}{\sin (0{,}400^0 p + 20{,}68^0)^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wobei sich die Coëfficienten auf Menschenhaare beziehen. Durch Abänderungen in der Spannung, in der Länge oder in der Weite der Fädenpaare läßt sich für die Constante γ der Werth — 0,400 herstellen. Gesetzt, dies sei geschehen, außerdem aber noch für irgend eine Stellung in der Gleichgewichtslage, welcher der Torsionswinkel z_0 und die relative Feuchtigkeit p_0 entspricht, durch Aenderungen im Verhältniß beider Torsionen erreicht, daß:

$$z_0 = 0{,}400^0 p + 20{,}68^0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

ist, so wird überall, d. h. die ganze Scala der relativen Feuchtigkeit hindurch, $z = 0{,}400^0 p + 20{,}68^0$; denn es wird zufolge der Gleichung (1) für $p = p_0$ die Größe $\delta z = 0{,}400\, \delta p$, folglich ist die Bedingung (2) auch für die Nachbarwerthe von z_0 und p_0, nämlich für $z_0 + \delta z$ und $p_0 + \delta p$ erfüllt und deshalb der gemachte Schluß durch die ganze Scala zu wiederholen. Umgekehrt ist auch die Erfüllung der Bedingung (2) für zwei z. B. für die äußeren Punkte der Feuchtigkeitsscala $p = 0$ und $p = 100$ ein Zeichen, daß $\gamma = 0{,}400$ gemacht worden ist. Hieraus folgt, daß man eine gleichwerthige Scala haben wird, wenn man dafür sorgt, daß in getrockneter Luft $z = 20{,}68^0$, in gesättigter gleich $60{,}68^0$ wird, und daß unmittelbar der Procentsatz relativer Feuchtigkeit angegeben wird, wenn man das Stäbchen auf einem in 100 gleiche Theile getheilten Gradbogen von 40^0 spielen läßt, dessen Nullpunkt $z = 20{,}68^0$ entspricht, oder, wenn man das Stäbchen senkrecht zu der erst angegebenen Lage durch das Schiffchen mit den Aufhängepunkten steckt: $z = 45{,}00^0 - 20{,}68^0 = 20{,}00^0 + 4{,}32^0$. Die Möglichkeit der eben angegebenen Regulirung erhellt theoretisch aus der Betrachtung, daß die Bedingung des Zusammenhaltens von $p = 0$ mit $z = 20{,}68^0$ dadurch zu erfüllen ist, daß man das Verhältniß beider Torsionen ändert, die anderen aber des Zusammenfallens von $p = 100$ mit $z = 60{,}68^0$, wenn die Empfindlichkeit, d. h. die Summe bezieh. die Differenz beider Torsionen, geändert wird, und zwar durch solche gleichzeitige Correction beider Torsionen, daß das Verhältniß für die andere Stellung $p = 0$ dasselbe bleibt.

Die Empfindlichkeit des in den Figuren 155 bis 158 dargestellten Apparates überhaupt und die Größe der Torsion wird am bequemsten dadurch geändert, daß man die Fäden an ihrem einen Ende einander nähert, oder von einander entfernt. Die bifilare Torsion ist, wenn die Fäden nicht parallel sind, sondern mit der Aufhänge- oder Befestigungsbasis ein Trapez bilden, dem Product aus den beiden parallelen Seiten des Trapezes proportional. Wird die Verstellung durch Schrauben ausgeführt, so ist die Aenderung des Werthes der Torsionscoëfficienten der Drehung der Schraube proportional.

Bei dem Justiren des Instrumentes ist es auch nöthig, die Spannung der Fäden ganz allmälig mittelst einer Schraube, welche das Befestigungsstück der

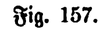
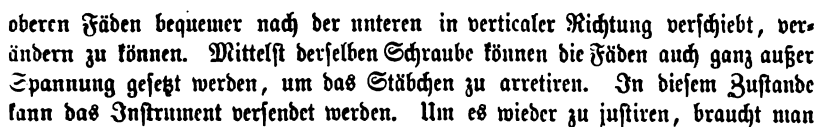


Fig. 157.



Fig. 158.



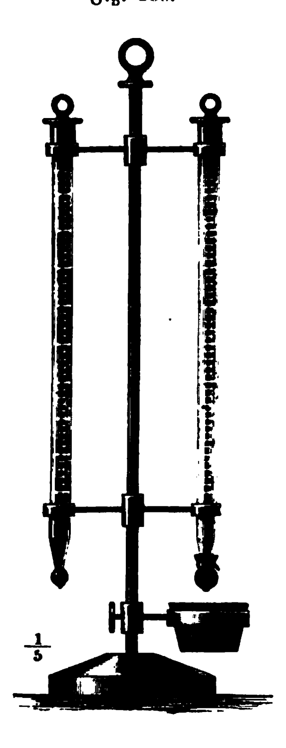
oberen Fäden bequemer nach der unteren in verticaler Richtung verschiebt, verändern zu können. Mittelst derselben Schraube können die Fäden auch ganz außer Spannung gesetzt werden, um das Stäbchen zu arretiren. In diesem Zustande kann das Instrument versendet werden. Um es wieder zu justiren, braucht man nur auf der Platte *p* des Instrumentes, welche mittelst dreier Fußschrauben horizontal gestellt worden, ein Tellerchen mit Chlorcalcium zu bringen, dann mit der Glasglocke *H* zu bedecken und mittelst der Schraube *S* die Spannung der Fäden so weit zu vergrößern, daß mit dem allmäligen Austrocknen der Luft in der Glocke der Zeiger des Stäbchens *s s* auf den Nullpunkt der Theilung geführt wird. Mit derselben Schärfe aber kann man dieselbe Spannung wieder herstellen, wenn man die Schwingungsdauer des Stäb-



Fig. 159.

chens beobachtet, was selbst mit einer gewöhnlichen Secunden zeigenden Uhr leicht auszuführen ist. Zu diesem Zwecke bemerkt der Mechaniker, wie viel Schwingungen in einer oder mehreren Minuten in vollkommen ausgetrockneter Luft gemacht werden müssen. Bei dem Aufstellen des Apparates an einem anderen Orte wird Chlorcalcium auf die Platte p gebracht, eine Glocke H übergestülpt und mittelst der Schraube S die Spannung der Fäden so lange berichtigt, bis nach vollständiger Austrocknung der Luft in der Glocke der Zeiger auf Null oder noch besser das Stäbchen die diesem Punkte entsprechende Schwingungszahl zeigt. Fig. 159 zeigt die im Handel gebräuchliche Form des Apparates. Derselben wird eine Reductionsscheibe beigegeben zur Ueberführung der Feuchtigkeitsprocente im Thaupunkte. Gut ausgeführte Klinkerfues'sche Hygrometer sind zwar nicht so empfindlich, wie das Koppe'sche, die damit erzielten Angaben sind aber für mittlere Temperaturen hinreichend genau. Die im Handel vorkommenden Apparate sind sehr oft unzuverlässig (S. 170). Für höhere Temperaturen (60 bis 70°) sind Haarhygrometer nach Versuchen von Langer[1]) überhaupt unzuverlässig.

Fig. 160.



Bemerkenswerth ist noch, daß im Observatorium zu Montsouris die Ausdehnung eines freihängenden, durch Gewicht gespannten Haares mit einem Mikroskop erfolgt, ein Verfahren, welches nur für wissenschaftliche Untersuchungen zu empfehlen ist —.

August[2]) berechnet zuerst den Feuchtigkeitsgehalt der Luft aus der Abkühlung einer mit Wasser befeuchteten Thermometerkugel, und zwar geschieht dieses durch zeitweiliges Eintauchen in ein kleines Wassergefäß (Fig. 160) oder ununterbrochen mittelst eines Dochtes u. dergl. Peltier[3]) bestimmt diese Verdunstungskälte mittelst Thermomultiplicators.

Bezeichnet man mit t die von dem trocknen Thermometer angegebene Lufttemperatur, mit t' die des feuchten Thermometers, mit e' die der Temperatur t' entsprechende Spannkraft (S. 190), mit B den Barometerstand, so ist die wirkliche Dampfspannung:

$$e = e' - 0{,}00074\,B\,(t - t').$$

Daraus ergiebt sich der Wassergehalt von 1 cbm Luft in Grammen:

---

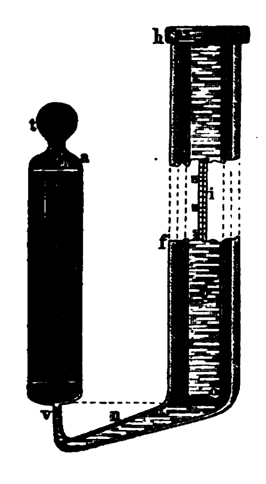
[1]) Wagner's Jahresber. 1880, S. 646. — [2]) Poggend. Ann. (1825), 5, 69, 335, 14, 137; August: Psychrometertafeln (Berlin 1818). — [3]) Mem. encyclop. 1837; Dingl. 1837, 66, 234.

$$f = 1{,}06 \cdot \frac{e}{1 + 0{,}003665 \cdot t}.$$

Gewöhnlich genügt die Annäherungsformel $f = f' - 0{,}6\,(t - t')$, indem man für f' den aus der Tabelle S. 183 zu t' entnommenen Werth setzt [1]). Wenn z. B. die beiden Thermometer 20 und 14° zeigen, so erhält 1 cbm Luft 8,4 g Wasser.

Nach Regnault ist der für mäßig bewegte Luft berechnete Factor 0,00074 für ruhige Luft bis auf 0,0012 zu erhöhen, da in letzterer die das nasse Thermometer umgebende feuchte Luft weit langsamer ersetzt wird. Wolf [2]) fand selbst bei freihängenden Thermometern Fehler bis zu 30 Proc., ich selbst habe Fehler bis zu 20 Proc. beobachtet (S. 170); das Verfahren ist daher zu ungenau, wenn auch die Angaben bei mittleren Temperaturen zuweilen befriedigend stimmen.

Fig. 161.



Lambrecht in Göttingen (D. R. P. 12951) glaubt diese Ungenauigkeit durch Abplattung der Thermometerkugel (Fig. 161) vermeiden zu können. Zu diesem Zweck ist in einem, mit Luftthermometer t versehenen Glascylinder a eine mit Thermometergradeintheilung versehene Platte b angebracht und von unten das Verdunstungsthermometer c so eingeschmolzen, daß nur die untere Fläche seines Quecksilberbehälters mit der Luft in Verbindung steht, während der obere Theil des Behälters vom Cylinder a umschlossen ist. Zur Zuführung der Flüssigkeit behufs Anfeuchtung des Saugpapiers unter dem Quecksilbergefäß dient der doppelwandige Cylinder fg mit unten conisch zulaufendem schrägem Ansatz n, dessen Ende v wieder nach oben gebogen ist und in eine kleine Düse ausläuft, welche von unten die Mitte des Saugpapieres berührt [3]).

Whitehouse [4]) schlägt den umgekehrten Weg ein, indem er die Thermometerkugel mit concentrirter Schwefelsäure befeuchtet und die in Folge der Wasseraufnahme aus der Atmosphäre erfolgte Temperatursteigerung beobachtet. — Das Verfahren ist unbrauchbar.

Die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit durch die Wage ist ebenfalls längst bekannt. So bestimmten die Mitglieder der Florentiner Akademie im Jahre 1731 den Feuchtigkeitsgehalt durch Aufstellen eines mit Schnee oder Eis gefüllten, trichterartigen Glasgefäßes und Wägen des verdichteten abtropfenden Wassers. Der Abt Fontana [5]) nahm statt dessen eine abgekühlte polirte Glasplatte und bestimmte deren Gewichtszunahme. Andere [6]) brachten mit Salmiak getränkte Schwämme an einer Wage ins Gleichgewicht und bestimmten die Gewichtsveränderung durch die Grade des Ausschlages oder durch Gegengewichte.

---

[1]) F. Kohlrausch: Praktische Physik, S. 37. — [2]) Dingl. 1877, 226, 301. — [3]) Dingl. 1881, 241, *297. — [4]) Dingl. 1872, 204, 188. — [5]) Saggio del real gabinetto di Firenze, S. 19. — [6]) J. C. Fischer: Physikalisches Wörterbuch (1799), Bd. 2, S. 976.

Joh. Livingstone[1]) versuchte in ähnlicher Weise verdünnte Schwefelsäure, Baumhauer[2]) und Snellen[3]) nahmen mit concentrirter Schwefelsäure getränkte Bimssteinstückchen, Andere Potasche[4]), T. Lowitz[5]) im Jahre 1772 einen bei Astrachan gefundenen Schiefer. — Diese Verfahren sind offenbar unbrauchbar; sicher ist dagegen die Bestimmung, wenn man eine genau abzumessende Luftmenge durch ein Rohr mit Chlorcalcium oder Schwefelsäure ansaugt[6]), dessen Gewichtszunahme direct den Wassergehalt angiebt (S. 170). Das Verfahren ist genau, aber etwas umständlich, da es längere Zeit und genaue Wägungen erfordert; es wird daher meist nur da angewendet, wo, z. B. in Trockenräumen, Malzdarren u. s. w., die bequemeren Verfahren nicht verwendbar sind. —

Bei den im Auftrage des Magistrates der Stadt Berlin ausgeführten Schulluftuntersuchungen verwandte die betreffende Commission[7]) ein kleines, im Wasser schwimmendes Glasaräometer, dessen Spindel eine aus Glimmer gefertigte Scheibe trug. Auf diese Scheibe wurde ein mit Wasser befeuchtetes Stück Fließpapier gelegt. Hat nun das Papier eine Oberfläche von 9 qcm und sinkt das Instrument beim Auftropfen von m mg Wasser um g Grade, steigt dann während einer Beobachtungszeit von t Minuten um r Grade, so beträgt die Verdunstung für Stunde und Quadratcentimeterfläche $\frac{mr}{9g} \cdot \frac{60}{t}$ mg Wasser. — Da auf die Schnelligkeit der Verdunstung nicht nur, wie beim August'schen Psychrometer (S. 177), die Luftbewegung, sondern auch die mehr oder minder große Nähe der Wasserfläche einwirkt, so sind die mit diesem Apparate erhaltenen Angaben offenbar werthlos. —

Zuverlässig läßt sich der Feuchtigkeitsgehalt der Luft auch aus der Volumabnahme derselben beim Trocknen durch Chlorcalcium oder Schwefelsäure berechnen. Diese Volumverminderung kann entweder in der von Bunsen angegebenen Weise im Eudiometer über Quecksilber direct gemessen (S. 189) oder aber aus der Abnahme des Druckes berechnet werden[8]).

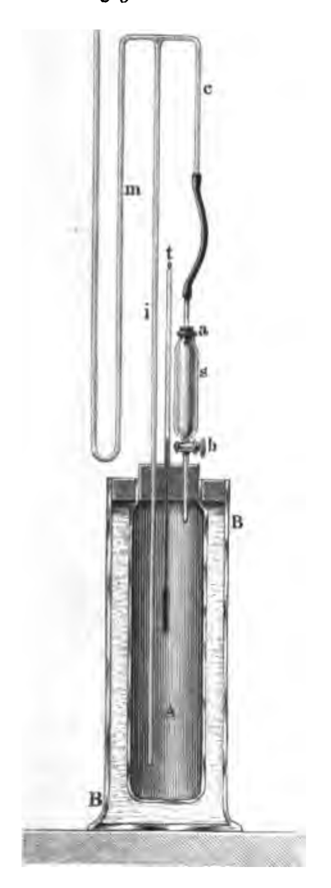
Zu letzterem Zweck habe ich mir den in Fig. 162 in $^1/_4$ natürlicher Größe abgebildeten Apparat anfertigen lassen[9]). Das cylindrische 1 Liter fassende Glasgefäß A (verkürzt gezeichnet) ist mittelst Gummistopfen in den weiteren, mit Wasser gefüllten Glascylinder B eingesetzt, um jede rasche Temperaturveränderung zu vermeiden. Der eine Schenkel des T-Rohres i trägt das kleine Manometer m, der andere c kann durch einen engen Gummischlauch mit der kleinen Bürette s verbunden werden. Soll nun eine Bestimmung gemacht werden, so verbindet man den Rohransatz c mit dem Raume, welcher die zu untersuchende Luft enthält, und saugt mit einem Aspirator bei geöffnetem Hahn b so lange aus der Oeffnung a an, bis der Cylinder A sicher mit der zu untersuchenden Luft gefüllt ist. Nun wird der Hahn b geschlossen, das kleine Gefäß s mit concentrirter Schwefelsäure

---

[1]) Dingl. 1821, 4, 484. — [2]) Pogg. Ann. 93, 343. — [3]) Zeitschr. f. Meteorol. 1874, 350. — [4]) Dingl. 36, *131. — [5]) Göttingisches Magazin der Wissenschaften, Reihe 4, 3, 491. — [6]) Vergl. Pogg. Ann. 20, 274. — [7]) Rohrleger 1880, *63. — [8]) R. Bunsen, Gasometrische Methoden, 2. Aufl., 45. M. Th. Edelmann, Neuere Apparate für naturwissenschaftliche Schule und Forschung (1879), 14. — [9]) Dingl. 1879, 234, *49.

gefüllt und die Mündung *a* mit einem Gummistopfen verschlossen, in dessen Durchbohrung ein zur Spitze ausgezogenes Glasrohr steckt, welches schließlich mittelst Gummischlauch mit dem Rohr *c* verbunden wird, so daß damit der Apparat völlig abgeschlossen ist. Man läßt nun durch Oeffnen des Hahnes *b* die Schwefelsäure eintropfen; innerhalb 2 bis 3 Minuten ist die Absorption beendet, ohne daß eine Temperaturänderung stattfindet, wie man sich durch das Thermometer *t* überzeugt. Man liest nun genau die Druckabnahme im Manometer *m* ab, welche mit Hülfe der Tabelle S. 183 den Wassergehalt giebt.

Fig. 162.



Aehnlich, wenn auch der vielen Glashähne wegen weniger einfach, ist der Apparat von Voller[1]), wenig zu empfehlen der von Hasselt[2]) und von Tschaplowitz[3]).

F. Rüdorff[4]) setzt in die drei Hälse der etwa 1 Liter fassenden Flasche *F* (Fig. 163 a. f. S.) eingeschliffene durchbohrte Stöpsel; der mittlere (*r*) trägt die in 0,1 ccm getheilte Hahnbürette *P*, der rechte (*s*) ein bis fast zum Boden der Flasche reichendes Glasrohr, der linke (*t*) das Manometer *M*. Der Zweiweghahn *t* verbindet in der einen Stellung das Gefäß mit dem Manometer, in der anderen das Gefäß mit der äußeren Luft. Das Manometer ist mit verdünnter Schwefelsäure von 1,30 specif. Gewicht gefüllt, welche bei gewöhnlicher Temperatur und Feuchtigkeit weder Wasser anziehen noch abgeben soll. Zur Anstellung eines Versuches werden die Stöpsel aus den Hälsen entfernt, mit einem kleinen Blasebalg wird die Luft aus dem Gefäß ausgetrieben und die Stöpsel wieder bei geöffneten Hähnen eingesetzt. Nachdem die Hähne geschlossen sind, wird die Bürette mit Schwefelsäure gefüllt und der Hahn *t* so gestellt, daß die Verbindung des Manometers mit dem Gefäß hergestellt ist. Der gleichhohe Stand der Flüssigkeit im Manometer zeigt, daß die Luft im Gefäß

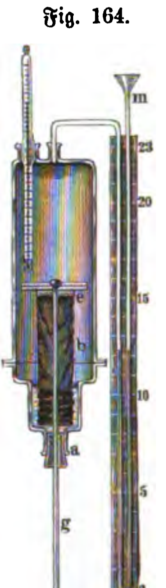
[1]) Dingl. 1881, **240**, *448. — [2]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1880, 67; Dingl. 1880, **236**, *66. — [3]) Landwirthsch. Versuchsst. 1881, *65. — [4]) Berichte deutsch. chem. Ges. 1880, 149.

unter dem Druck der Atmosphäre steht. Läßt man nun durch Drehung des Hahnes *r* vorsichtig etwas Schwefelsäure in das Gefäß fließen, so wird der Wasserdampf absorbirt und das Gleichgewicht im Stande des Manometers gestört. Durch ferneres Zulassen von Schwefelsäure wird das Gleichgewicht wieder hergestellt und dann ist der absorbirte Wasserdampf durch ein gleiches Volumen Schwefelsäure ersetzt. Dasselbe wird an der Bürette direct abgelesen und durch Rechnung der Procentgehalt der Luft an Wasserdampf gefunden. Wünscht man aus den Angaben

Fig. 163.



Fig. 164.



des Apparates den Theildruck, welchen der Wasserdampf ausübt, zu finden, so ergiebt sich dieser in folgender Weise: Enthält die Luft 1 Vol.-Proc. Wasserdampf, so übt derselbe auch 0,01 des Druckes aus. Bezeichnet man daher allgemein mit v das Volumen des in 100 Vol. Luft enthaltenen Wasserdampfes und mit B den in Millimeter ausgedrückten Barometerstand, so ergiebt sich der Theildruck des Wasserdampfes $= 0{,}01\, v B$ mm.

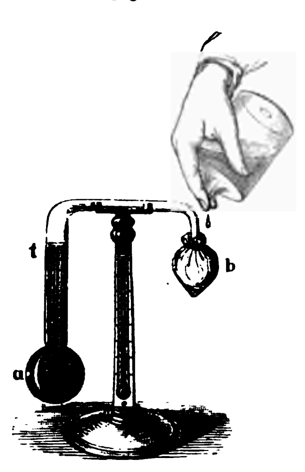
Das Verfahren ist bequem und genau, doch ziehe ich vor, statt des den Temperaturschwankungen ausgesetzten Gefäßes F das weit billigere, mit Wasser umgebene Gefäß A (Fig. 162) zu nehmen und das Manometer mit schwer siedendem Erdöl zu füllen.

F. Neesen[1]) hat den Apparat dahin geändert, daß er zwei Flaschen verwendet, welche mit einander verbunden sind, um dadurch die Beobachtung von der Temperatur unabhängig zu machen. Dieses ist überflüssig, sobald die Flasche in Wasser steht.

[1]) Ann. Phys. 11, *526.

A. Matern[1]) bestimmt die Wassermenge, welche eine eingeschlossene Luft noch bis zur völligen Sättigung aufnimmt, um daraus auf den bereits vorhandenen Wassergehalt derselben zu schließen. Der Glasboden seines Condensationshygrometers endet unten in einen 1,5 cm langen, 1 cm weiten Hals *a* (Fig. 164), welcher zur Aufnahme eines Kautschukcylinders bestimmt ist. Vom oberen Ende des Halses an erweitert sich der Boden in einen 3 cm weiten und 3 cm hohen cylindrischen Raum, der zur Füllung mit Wasser dient. Die Wand dieses Behälters geht in einen möglichst geebneten, horizontal abstehenden Rand von 1 cm Breite über, erhöht sich dann noch etwa um 1 cm, bei welcher Stelle eine Weite von 5 cm erreicht ist, und läuft dann in einen rechtwinklig abstehenden flachen Rand von 1 cm Breite aus, der mit Schmirgel sorgfältig eben geschliffen ist. In einer Durchbohrung des Kautschukpfropfens läßt sich ein 2,5 mm starker Glasstab *g* mit Reibung auf- und abschieben, auf welchen zunächst ein mitten durchbohrtes Metallkreuz von 2 cm Armlänge und darunter eine ebene, leicht biegsame Kautschukscheibe von 4 cm Durchmesser geschoben ist. Beide Theile werden durch einen mit starker Reibung auf den Stab geschobenen kurzen Kautschukcylinder *e* von 2 cm Durchmesser festgehalten, an welchem ein den Stab umgebendes, etwa 15 cm langes Säckchen *b* von dünner Leinwand befestigt ist. In den geöffneten Behälter ist bis zu einer Marke so viel Wasser zu gießen, daß es nach dem Herabziehen des Stabes durch die eingetauchte Leinwand und den Kautschukcylinder noch nicht bis an den Rand des Behälters gehoben wird. Wenn das Kreuz die Kautschukscheibe gegen diesen Rand andrückt, ist der Wasserbehälter genügend geschlossen, um den Feuchtigkeitsgehalt der außerhalb befindlichen Luft unverändert zu lassen. Der eben geschliffene Rand des Bodens wird dann mit Talg bestrichen und ein mit gleichem Rande versehener 12 cm hoher, 5 cm weiter Behälter fest darauf gedrückt, in welchen oben ein 2,75 mm bis 3 mm weites und 30 cm langes, zur Hälfte mit Rüböl gefülltes Manometer *m* entweder eingeschmolzen, oder in einen Hohlconus eingesetzt ist. Der Stab ist dann in die Höhe zu schieben und die mit ihm emporgehobene feuchte Leinwand sättigt die Luft sehr bald mit Wasserdampf, dessen Druckerhöhung sich am Manometer zeigt. Das Verfahren steht den beiden letzteren (Fig. 162 u. 163) an Genauigkeit und Handlichkeit nach. Da jedoch auch diese Apparate nach jeder Bestimmung gereinigt und getrocknet werden müssen, so empfehlen sich dieselben namentlich zu

Fig. 165.

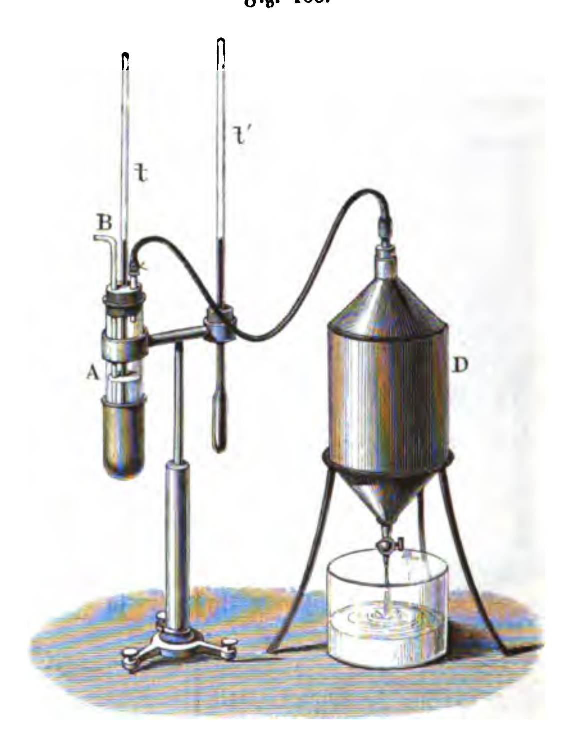


[1]) Ann. Phys. (1880) 9, *147, 10, *149; Dingl. 1880, 236, *69.

einzelnen Controlbestimmungen, während für die fortlaufenden Bestimmungen meist ein gutes Haarhygrometer vorgezogen wird.

Daniell[1]) bestimmte den Thaupunkt, d. h. die Temperatur, bei welcher die Atmosphäre mit der vorhandenen Feuchtigkeit gesättigt sein würde, mittelst einer durch verdunstenden Aether abgekühlten Glaskugel (Fig. 165 a. v. S.). Die Kugel *a* des vollkommen luftleeren Apparates ist vergoldet und halb mit Aether gefüllt. Sobald man nun Aether auf die mit einem Gewebe umkleidete Kugel *b*

Fig. 166.



tropft, so verdichtet sich der darin befindliche Aetherdampf, es destillirt von *a* aus Aether über, bis sich diese Kugel durch die Verdunstungskälte auf den Thaupunkt der umgebenden Luft abgekühlt mit einem zarten Thau beschlägt. — Mangelhafter ist das sogenannte Thermohygrometer von Nollet[2]).

Döbereiner[3]) und Regnault[4]) gaben diesem Apparat die Form, welche unter dem Namen Regnault'sches Hygrometer bekannt ist (Fig. 166). Die halb mit Aether gefüllte Glasröhre *A* trägt unten ein fingerhutähnliches Gefäß aus dünnem polirtem Silberblech. Die eine der drei Durchbohrungen des Stopfens

---

[1]) Gilbert's Ann. 68. — [2]) Dingl. 1842, 85, 305. — [3]) Gilbert's Ann. 70. — [4]) Ann. chim. phys. III, 15.

enthält das fast bis zum Boden der Röhre A reichende Rohr B, während von dem nur eben bis unter den Kork reichenden Rohr ein Schlauch zu dem mit Wasser gefüllten, einige Meter entfernten Aspirator D führt. Die von diesem angesaugte, durch das Rohr B eintretende Luft streicht durch den Aether, welcher dadurch rasch verdunstet und das Silbergefäß bis zum Thaupunkt abkühlt. Der Eintritt desselben und die von beiden Thermometern t und t' angegebenen Temperaturen werden durch ein passend beim Aspirator aufgestelltes Fernrohr beobachtet. Durch entsprechende Stellung des Wasserabflußhahnes läßt man den Thau einige Mal hinter einander auftreten und verschwinden. Der Apparat hat vor dem Daniell'schen den großen Vorzug, daß weder die Nähe der Versuchsperson noch der Aetherdampf den Thaupunkt stören; die damit erzielten Resultate sind genau, nur schade, daß der Apparat für technische Zwecke etwas unhandlich ist. Zu erwähnen ist noch der Vorschlag von Alluard [1]), die vergoldete Kugel mit einer nicht gekühlten gleichen Fläche zu umgeben, um den Eintritt des Thaupunktes leichter zu erkennen. Dines [2]) schlug vor, eine schwarze Glasplatte bis zum Thaupunkt abzukühlen.

Das Regnault'sche Hygrometer giebt unmittelbar den richtigen Thaupunkt an. Nachfolgende Tabelle enthält die dem Thaupunkt t entsprechende Spannkraft e

t Grad	e mm	f g	t Grad	e mm	f g	t Grad	e mm	f g	t Grad	e mm	f g
— 10	2,0	2,1	0	4,6	4,9	10	9,1	9,4	20	17,4	17,2
— 9	2,2	2,4	1	4,9	5,2	11	9,8	10,0	21	18,5	18,2
— 8	2,4	2,7	2	5,3	5,6	12	10,4	10,6	22	19,7	19,3
— 7	2,6	3,0	3	5,7	6,0	13	11,1	11,3	23	20,9	20,4
— 6	2,8	3,2	4	6,1	6,4	14	11,9	12,0	24	22,2	21,5
— 5	3,1	3,5	5	6,5	6,8	15	12,7	12,8	25	23,6	22,9
— 4	3,3	3,8	6	7,0	7,3	16	13,5	13,6	26	25,0	24,2
— 3	3,6	4,1	7	7,5	7,7	17	14,4	14,5	27	26,5	25,6
— 2	3,9	4,4	8	8,0	8,1	18	15,4	15,1	28	28,1	27,0
— 1	4,2	4,6	9	8,5	8,8	19	16,3	16,2	29	29,8	28,6

und den Wassergehalt f von 1 cbm Luft für die hier in Frage kommenden Temperaturen. Da jedoch die den Apparat umgebende Luft abgekühlt war, so muß der dem Thaupunkt t in der Tabelle entsprechende Wassergehalt bei T^0 Lufttemperatur noch multiplicirt werden mit $\frac{1 + 0{,}00366 \,.\, t}{1 + 0{,}00366 \,.\, T}$.

Wird z. B. bei 20^0 Lufttemperatur der Thaupunkt zu 10^0 bestimmt, so entspricht die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes 9,1 mm Quecksilber, und

[1]) Compt. rend. 85, 568. — [2]) Engineer 1872, 228; Dingl. 1872, 206, *274.

1 cbm Luft enthält $9{,}4 \frac{1 + 0{,}00366 \cdot 10}{1 + 0{,}00366 \cdot 20} = 9{,}1$ g Wasser. Bei geringen Temperaturunterschieden wird diese Correction oft überflüssig sein.

Bestimmung des Sauerstoffes. Die ersten derartigen Bestimmungen wurden ausgeführt, um festzustellen, in wie fern die Luft an verschiedenen Orten zum Athmen mehr oder weniger brauchbar und für die Erhaltung der Gesundheit zuträglich sei (daher Eudiometrie von *εὐδία*, gute Luft, und *μέτρον*). Hales[1]) machte bereits im Jahre 1727 die Beobachtung, daß nitrose Luft (NO), mit atmosphärischer Luft gemischt, eine Volumverminderung zeigt. Priestley[2]) verfolgte diese Beobachtung und stellte im Jahre 1772 das erste Eudiometer zur Untersuchung der Luft mittelst Stickoxyd her, indem er den Grundsatz aufstellte, die atmosphärische Luft sei um so reiner, je größer die Volumverminderung beim Vermischen mit Salpetergas sei. Diese Prüfung der Luft auf ihren Gehalt an Sauerstoff mittelst Stickoxyd fand den allgemeinsten Beifall. F. Fontana[3]) schlug unter Beibehaltung des Verfahrens acht verschiedene Eudiometer vor; besser waren die Apparate von Landriani[4]), der zuerst die Bezeichnung „Eudiometer" gebraucht, Ingenhouß[5]), Magellan[6]), Achard[7]), Stegmann[8]) u. A. Scheele[9]) verwendete zu gleichem Zweck Schwefel und Eisenfeile, Guyton-Morveau Schwefelkalium. Seguin[10]) nahm zuerst erwärmten Phosphor, Berthollet Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur. Volta mischte die Luft mit Wasserstoff und entzündete das Gemisch durch elektrische Funken, ähnlich Weekes[11]); nach den Verbesserungen durch Bunsen (S. 193) ist diese Bestimmungsart des Sauerstoffes die genaueste der bis jetzt bekannten. Döbereiner vermittelte die Verbindung dieses Gasgemisches durch Platinschwamm.

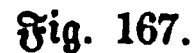
Die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes hat neuerdings eine erhöhte Bedeutung durch den Nachweis erhalten, daß derselbe, entgegen der allgemeinen Annahme in den letzten Jahrzehnten, ziemlich bedeutenden Schwankungen unterliegt.

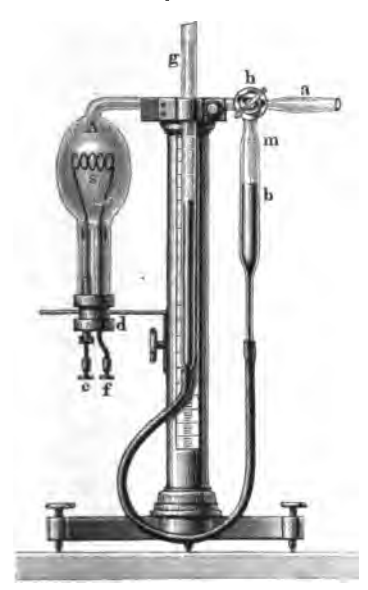
Bekanntlich fand Regnault[12]) für 1 Liter atmosphärische Luft 1293,187 mg, für 1 Liter Sauerstoff 1429,802 mg und für 1 Liter Stickstoff 1256,167 mg. Bezeichnet x das Volum des im Liter Luft enthaltenen Sauerstoffgases, also $1 - x$ das des Stickstoffes, so hat man: $1429{,}802\,x + (1 - x)\,1256{,}167 = 1293{,}187$. Es berechnet sich hiernach x zu 0,2132 oder der Sauerstoffgehalt zu 21,32 Proc. Jolly[13]) hat nun mit einem Glaskolben von 1009,412 ccm Inhalt eine große Anzahl Wägungen ausgeführt, aus denen hervorgeht, daß für die geographische Breite von München von 48° 8′ und der Höhe von 515 m über der Meeres-

[1]) Hales, Vegetable Statisticks. Deutsch: Statik der Gewächse (Halle 1748), S. 128. — [2]) Leonhardi, Macquer's chymisches Wörterbuch (Leipzig 1789), 3, 88. — [3]) Fischer, Physikalisches Wörterbuch (Göttingen 1779), 2, 275. — [4]) Landriani, Untersuchung der Gesundheit der Luft (Basel 1778). — [5]) Philosophical Transactions (1776), 66, 257. — [6]) Beschreibung einiger Eudiometer; übersetzt von Wenzel (Dresden 1780), 24. — [7]) Achard, Sammlung physikalischer Abhandlungen (Berlin 1784), 1, 317. — [8]) Stegmann, Beschreibung eines Luftmessers (Cassel 1778). — [9]) Scheele, Luft und Feuer (Leipzig 1782), 269. — [10]) Gren's Journal der Physik, 6, 148; Scherer, Geschichte der Luftgüteprüfungslehre (Wien 1785). — [11]) Dingl. 1834, 53, *339. — [12]) Mém. de l'Acad. de sciences (1847) 21, 158. — [13]) Ann. d. Phys. (1879) 6, 539.

oberfläche 1 Liter Sauerstoff 1429,094 mg und 1 Liter Stickstoff 1257,614 mg wiegen (s. S. 139). Das Gewicht des in dem Ballon eingeschlossenen Sauerstoffes betrug 1442,545 mg, das des Stickstoffes 1269,455 mg, das der getrockneten atmosphärischen Luft (ob auch von Kohlensäure befreit, ist nicht angegeben) bei anhaltendem Nordost 1305,744 und bei anhaltendem Föhn 1304,899 mg, somit der Sauerstoffgehalt der Luft 20,965 und 20,477 Proc.

Ph. v. Jolly[1]) benutzt die bekannte Eigenschaft des glühenden Kupfers, der atmosphärischen Luft den Sauerstoff völlig zu entziehen. Das etwa 100 ccm fassende Glasgefäß *A* (Fig. 167) kann durch den Dreiweghahn *h* mit dem Rohransatz *a* und dem Rohr *b* in Verbindung gesetzt werden. Soll eine Bestimmung ausgeführt werden, so schließt man den Behälter *A* durch den Deckel *d*, verbindet das Rohr *a* mit der Quecksilberluftpumpe und füllt mit Hülfe derselben den Apparat mit der zu untersuchenden Luft. Inzwischen umgiebt man das Gefäß *A* mit Eis und stellt durch Heben oder Senken des mit *b* durch einen Schlauch verbundenen Rohres *g* das darin enthaltene Quecksilber bis zur Marke bei *m* ein. Der Hahn *h* wird dann so gestellt, daß *A* nur noch mit dem Rohr *b* in Verbindung steht, worauf man die Klemmschrauben *c* und *f* mit entsprechenden Zuleitungsdrähten verbindet, so daß durch den galvanischen Strom die Kupferspirale *s* in lebhafte Glühhitze kommt. Ist der Sauerstoff entfernt, so umgiebt man das Gefäß *A* abermals mit Eis, stellt das Quecksilber in *b* wieder bis zur Marke ein und berechnet den Sauerstoff aus der Druckabnahme. Nach den Versuchen von Jolly giebt der Apparat bis auf Hundertstelprocente genaue Resultate.


Fig. 167.



Da es mir zweifelhaft erschien, ob die im Rohre zwischen dem Behälter *A* und dem Quecksilber bei *m* eingeschlossene Luft stets in derselben Weise an der Sauerstoffabgabe betheiligt wird, die Verwendung der Quecksilberluftpumpe aber lästig ist, so habe ich mir den in Fig. 168 (a. f. S.) abgebildeten Apparat anfertigen lassen[2]). Durch den aufgeschraubten Deckel der Glaskugel *A* gehen die beiden zu einer Batterie führenden Kupferdrähte *c* und *d*, welche unten eine Spirale von feinem Kupferdraht tragen. Das von einem einfachen Gestell getragene Rohr *f* ist bis zur Marke *m*, das durch einen dickwandigen Gummischlauch damit verbundene Rohr *g* etwa halb mit Quecksilber gefüllt. Bei entsprechender Stellung des Dreiweghahnes *b*

---

[1]) Ann. Phys. 6, *538. — [2]) Dingl. 1879, 234, *50.

wird nun durch die Glaskugel *A* die von Kohlensäure und Wasser völlig befreite atmosphärische Luft gesaugt, auch der Raum zwischen Hahn *b* und Quecksilbersäule damit gefüllt. Dann wird der Hahn *a* geschlossen und durch den Hahn *b* der Raum *A* mit dem Rohr *f* verbunden, das Quecksilber in *f* bis zur Marke *m* eingestellt und der Stand in dem vor einem genauen Maßstabe *e* verschiebbaren Rohr *g* abgelesen. Nun wird der Strom 3 bis 4 Mal je 4 bis 5 Minuten geschlossen, so daß die rothglühende Kupferspirale den Sauerstoff aufnimmt. Um auch der zwischen dem Hahn *b* und dem Quecksilber eingeschlossenen geringen Luftmenge den Sauerstoff völlig zu entziehen, läßt man das Quecksilber einfach bis zum Hahn *b* aufsteigen. Hat der Apparat die während des Versuches unveränderte Temperatur des Versuchsraumes wieder angenommen, so stellt man durch Verschieben des Rohres *g* das Quecksilber in *f* wieder bis zur Marke *m* und berechnet aus der Druckabnahme in bekannter Weise (S. 189) die durch den verschwundenen Sauerstoff bedingte Volumabnahme. Die mit diesem Apparate erhaltenen Resultate stimmen befriedigend mit denen mittelst Pyrogallol und Wasserstoff (S. 195).

Fig. 168.



Mawson und Swart[1]) bestimmen den Sauerstoff der atmosphärischen Luft mit einem Apparat, welcher nur wenig von dem schon von Schlösing und Rolland (s. später) angewendeten abweicht; nur ist das Absorptionsgefäß mit Kupferdrahtnetz gefüllt, während als Absorptionsflüssigkeit ein Gemisch von 2 Thln. gesättigter Salmiaklösung und 1 Thl. Ammoniakflüssigkeit von 0,88 specif. Gewicht angewendet wird. Das Verfahren ist sehr ungenau.

In jeder Beziehung musterhaft ist das Verfahren von R. Bunsen[2]), welcher

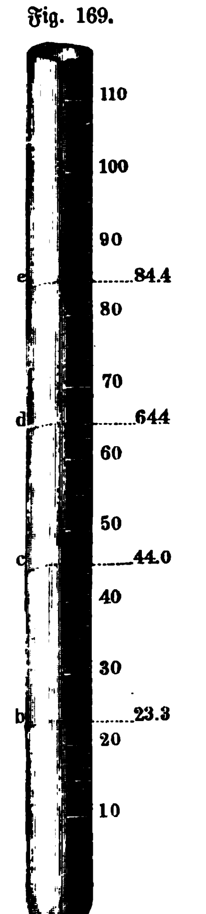
---

[1]) Chem. News 39, *132. — [2]) R. Bunsen, Gasometrische Methoden (2. Aufl., Braunschweig 1877).

die mit Wasserstoff gemischte atmosphärische Luft in einem Eudiometer über Quecksilber durch einen elektrischen Funken zur Explosion bringt.

Die Eudiometer [1]) sind vor dem Gebrauch erst sämmtlich mit Quecksilber auszumessen. Dieses geschieht nach Bunsen in folgender Weise: Nachdem die Meßröhre mit dem verschlossenen Ende nach unten in lothrechter Richtung aufgestellt ist, gießt man in dieselbe ein 20 Theilstriche einnehmendes, in einem mit aufgeschliffener Glasplatte versehenen Glasröhrchen abgemessenes Quecksilbervolumen von stets gleicher Temperatur, entfernt die zwischen Glaswand und Quecksilber angesetzten Luftblasen mittelst eines dünnen Holzstabes und bestimmt den Stand des Quecksilbers an der Theilung, indem man die Ablesung, um die Parallaxe, sowie jede Erwärmung zu vermeiden, mittelst des Kathetometerfernrohres vollführt.

Fig. 169.



Es sei nun z. B.:

die erste Ablesung bei b 23,3 (Fig. 169),
„ zweite „ „ c 44,0,
„ dritte „ „ d 64,4,
„ vierte „ „ e 84,4,

so nimmt das zum Ausmessen benutzte Quecksilbervolumen

zwischen b und c den Raum 20,7,
„ c „ d „ „ 20,4,
„ d „ e „ „ 20,0

ein.

Nimmt man nun das Volumen der Maßflüssigkeit willkürlich zu 20,7 (dem größten Raume, welchen es in dem Instrumente einnimmt) an, so entspricht dem abgelesenen Theilstrich

23,3 das Volumen $1 \times 20,7 = 20,7$,
44,0 „ „ $2 \times 20,7 = 41,4$,
64,4 „ „ $3 \times 20,7 = 62,1$,
84,4 „ „ $4 \times 20,7 = 82,8$.

Wenn aber diese 20,7 Volumina zwischen e und d dem abgelesenen Volumen 20,0 entsprechen, so wird ein Theilstrich innerhalb dieses Scalenintervalles dem Hohlraum $\frac{20,7}{20} = 1,035$, und 0,1 Theilstrich dem Hohlraum 0,1035 entsprechen. Eben so findet man den einem oder einem Zehntel Theilstrich entsprechenden Hohlraum

für das Scalenintervall dc zu $\frac{20,7}{20,4} = 1,0147$ und 0,10147
„ „ „ bc „ $\frac{20,7}{20,7} = 1,0000$ und 0,10000

u. s. w.

Danach ergiebt sich folgende Correctionstabelle:

[1]) Die Herstellung derselben beschreibt Bunsen a. a. O., S. *27; in der Regel wird man vorziehen, dieselben von guten Glasbläsern z. B. aus Stützerbach zu beziehen.

I	II	I	II	I	II	I	II
23	20,4	31	28,4	40	37,40	48	45,46
24	21,4	32	29,4	41	38,40	49	46,47
25	22,4	33	30,4	42	39,40	50	47,49
26	23,4	34	31,4	43	40,40	51	48,50
27	24,5	35	32,4	44	41,40	52	49,52
28	15,4	36	33,4	45	42,41	53	50,53
29	26,4	37	34,4	46	43,43	54	51,55
30	27,4	38	35,4	47	44,44	55	52,56
							u. s. f.

Statt des direct abgelesenen Gasvolums (I) sind daher die den Ablesungen entsprechenden Hohlräume (unter II) in Rechnung zu setzen. Da nun aber bei dem Kalibriren des mit der Oeffnung nach oben stehenden Eudiometers die Ablesung des Quecksilberstandes, an dem höchsten Punkte des Meniscus, also bei *aa*, Fig. 170, stattfindet, so giebt diese Beobachtung keineswegs den dem Theilstrich *a* entsprechenden Hohlraum der Röhre *aab*, sondern nur das Volumen *ccb*, welches mithin um das Volumen *acca* kleiner ist als das abgelesene *aab*. Denkt man sich ferner das Instrument mit dem offenen Ende nach unten gekehrt, also nicht mehr in der Stellung, wie es kalibrirt wurde, sondern wie es beim Gebrauche steht, so wird ein genau wieder bei *a* abgelesenes Gasvolumen noch weniger dem beim Kalibriren gemessenen Quecksilbervolum *ccb* entsprechen. Zu dem direct gemessenen Gasvolumen muß daher der doppelte Raum *caac* hinzuaddirt werden. Zur Bestimmung desselben füllt man etwas Quecksilber in das Eudiometer und liest an der Oberfläche des Meniscus ab. Eine darauf über das Quecksilber gegossene Schicht verdünnter Sublimatlösung bewirkt nach einigen Augenblicken, daß das Quecksilber eine völlig horizontale Oberfläche annimmt. Der Raum, welcher zwischen der ersten Ablesung und der nun horizontal gewordenen Quecksilberoberfläche liegt, giebt, doppelt genommen, jene constante Größe, welche jeder Ablesung hinzuaddirt werden muß. Dieselbe beträgt bei Röhren von 15 mm Durchmesser nach Bunsen 1,06, bei 17 mm 0,88, bei 20 mm 0,52.

Fig. 170.



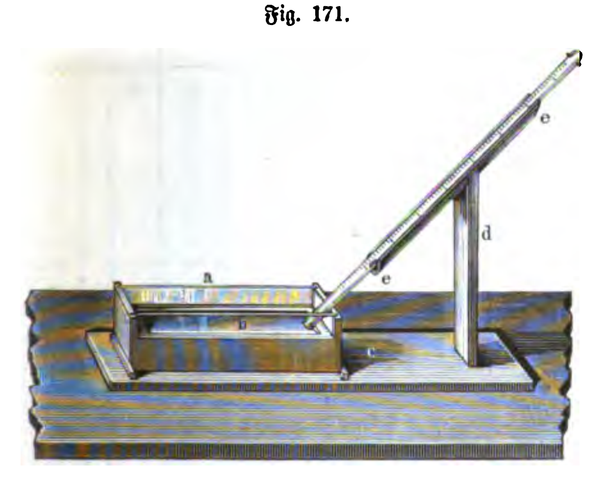
Die zu den Messungen verwendete 35 cm lange und 8 cm breite Quecksilberwanne (Fig. 171) besteht aus einem mit zwei Wänden von Spiegelglas *ab* versehenen Troge aus Birnbaumholz, den man vor dem Gebrauche inwendig mit Quecksilber und Sublimatauflösung zuerst feucht und dann trocken abreibt, um eine Adhäsion des Quecksilbers an den Holzwänden herbeizuführen. Die Wanne steht auf einem Brette *c*, das vermittelst des Pfeilers *d* oder besser vermittelst zweier Pfeiler die mit Filz ausgelegte, zum Ablegen des Eudiometers bestimmte hölzerne Rinne *ee* trägt.

Man füllt nun das sorgfältig gereinigte, schräg gelegte Eudiometer mit Hülfe eines langen Trichterrohres mit Quecksilber, nachdem man vorher in die Wölbung des Apparates einen kleinen Wassertropfen gebracht hat [1]). Nun läßt man die

[1]) Nach Pflüger ist es vorzuziehen, den Wassertropfen in dem bereits mit Queck-

zu untersuchende von Kohlensäure befreite Luft[1]) in dem mit der Oeffnung in das Quecksilber tauchenden Rohre aufsteigen (Fig. 171), stellt dasselbe senkrecht und liest mittelst Fernrohr den Stand des inneren und äußeren Quecksilbers ab.

Fig. 171.



Da die Wandungen des Meßrohres feucht sind, so werden die Gase mit Feuchtigkeit gesättigt gemessen. Bezeichnet man nun den abgelesenen Barometerstand mit B, die Höhe der Quecksilbersäule im Eudiometer mit b, die Temperatur der Luft mit t, die dieser entsprechende Tension des Wasserdampfes mit e (siehe S. 183), das der Ablesung entsprechende und vorher durch Ausmessen mit Quecksilber unter Berücksichtigung des Meniscus bestimmte Volumen des Gases mit v, so berechnet sich das Volumen des Gases trocken bei 0° und 1000 mm Barometer bekanntlich zu:

$$V = \frac{v\,(B - b - e)}{1000\,[1 + (0{,}00366\,t)]}.$$

Wenn z. B. der Barometerstand 746,2 mm, die Temperatur 18,6°, der Stand des Quecksilbers in der Wanne 533,5 und im Eudiometer 277,8, so ist $b = 255{,}7$, die Tension $e = 15{,}9$ und v nach der für den Apparat berechneten Correctionstabelle 289,2, folglich $V = 128{,}51$.

Die Berechnung ist bequem mit fünfstelligen Logarithmen auszuführen; sie wird durch die Tabellen (S. 190) noch erleichtert. Zur Reduction der Quecksilbersäule auf 0° giebt **Bunsen** eine große Tabelle, von welcher hier nur ein Auszug folgt (S. 192). Danach sind z. B. bei 20° und 760 mm 2,6 mm abzuziehen.

---

silber gefüllten Eudiometer aufsteigen zu lassen. Zu diesem Zweck füllt er ein J gekrümmtes capillares Glasrohr, an dessen nicht umgebogenem Ende ein etwa fußlanger Gummischlauch mit Quetschhahn sich befindet, ganz mit destillirtem Wasser, führt das gebogene Ende, das natürlich keine Luftblase enthalten darf, unter das Eudiometer und drückt mit dem Daumen auf den Gummischlauch, bis der Tropfen über dem Quecksilber im Eudiometer erscheint (Archiv f. Physiolog. 18, 117).

[1]) Es ist für genaue Analysen nothwendig, mittelst eines Stückchen Kalis die Kohlensäure zu entfernen; denn beträgt der Kohlensäuregehalt auch nur 0,05 Volumprocent, so würde diese Menge doch schon einen meßbaren Fehler in der Sauerstoffbestimmung zur Folge haben, da Kohlensäure, mit einem großen Ueberschuß von Wasserstoff bei Gegenwart von Knallgas verbrannt, sich in ein gleiches Volumen Kohlenoxyd verwandelt, wobei ein gleiches Volumen Wasserstoff verschwindet, so daß das verbrannte Gasvolumen um 0,05 Proc. zu groß ausfallen würde.

Tabelle A.

Tension des Wasserdampfes nach Regnault.

t	e	t	e	t	e	t	e	t	e
8,0	8,02	13,0	11,16	18,0	15,36	23,0	20,89	28,0	28,10
1	8,07	1	11,24	1	15,45	1	21,02	1	28,27
2	8,13	2	11,31	2	15,55	2	21,14	2	28,43
3	8,18	3	11,38	3	15,65	3	21,27	3	28,60
4	8,24	4	11,46	4	15,75	4	21,40	4	28,77
5	8,29	5	11,53	5	15,85	5	21,53	5	28,93
6	8,35	6	11,61	6	15,95	6	21,66	6	29,10
7	8,40	7	11,68	7	16,05	7	21,79	7	29,27
8	8,46	8	11,76	8	16,15	8	21,92	8	29,44
9	8,52	9	11,83	9	16,25	9	22,05	9	29,61
9,0	8,57	14,0	11,91	19,0	16,35	24,0	22,18	29,0	29,78
1	8,63	1	11,99	1	16,45	1	22,32	1	29,96
2	8,69	2	12,06	2	16,55	2	22,45	2	30,13
3	8,75	3	12,14	3	16,66	3	22,59	3	30,31
4	8,81	4	12,22	4	16,76	4	22,72	4	30,48
5	8,87	5	12,30	5	16,86	5	22,86	5	30,65
6	8,93	6	12,38	6	16,97	6	23,00	6	30,83
7	8,99	7	12,46	7	17,07	7	23,14	7	31,01
8	9,05	8	12,54	8	17,18	8	23,27	8	31,19
9	9,11	9	12,62	9	17,29	9	23,41	9	31,37
10,0	9,17	15,0	12,70	20,0	17,39	25,0	23,55	30,0	31,55
1	9,23	1	12,78	1	17,50	1	23,69	1	31,73
2	9,29	2	12,86	2	17,61	2	23,83	2	31,91
3	9,35	3	12,95	3	17,72	3	23,98	3	32,09
4	9,41	4	13,03	4	17,83	4	24,12	4	32,28
5	9,47	5	13,11	5	17,94	5	24,26	5	32,46
6	9,54	6	13,20	6	18,05	6	24,41	6	32,65
7	9,61	7	13,28	7	18,16	7	24,55	7	32,84
8	9,67	8	13,37	8	18,27	8	24,70	8	33,03
9	9,73	9	13,45	9	18,38	9	24,84	9	33,22
11,0	9,79	16,0	13,54	21,0	18,50	26,0	24,99	31,0	33,41
1	9,86	1	13,62	1	18,61	1	25,14	1	33,60
2	9,92	2	13,71	2	18,72	2	25,29	2	33,79
3	9,99	3	13,80	3	18,84	3	25,44	3	33,98
4	10,05	4	13,89	4	18,95	4	25,59	4	34,17
5	10,12	5	13,97	5	19,07	5	25,74	5	34,37
6	10,19	6	14,06	6	19,19	6	25,89	6	34,56
7	10,26	7	14,15	7	19,31	7	26,05	7	34,76
8	11,32	8	14,24	8	19,42	8	26,20	8	34,96
9	10,39	9	14,33	9	19,54	9	26,35	9	35,16
12,0	10,46	17,0	14,42	22,0	19,66	27,0	26,51	32,0	35,36
1	10,53	1	14,51	1	19,78	1	26,66	1	35,56
2	10,60	2	14,61	2	19,90	2	26,82	2	35,76
3	10,67	3	14,70	3	20,02	3	26,98	3	35,96
4	10,73	4	14,79	4	20,14	4	27,14	4	36,17
5	10,80	5	14,88	5	20,27	5	27,29	5	36,37
6	10,88	6	14,98	6	20,39	6	27,46	6	36,58
7	10,95	7	15,07	7	20,51	7	27,62	7	36,78
8	11,02	8	15,17	8	20,64	8	27,78	8	36,99
9	11,09	9	15,26	9	20,76	9	27,94	9	37,20

Tabelle B.

Log 1 + 0,00366 . *t*.

t	*log*	*t*	*log*	*t*	*log*	*t*	*log*
10,0	0,01561	15,0	0,02321	20,0	0,03068	25,0	0,03802
1	01577	1	02336	1	03083	1	03817
2	01592	2	02351	2	03098	2	03831
3	01607	3	02366	3	03113	3	03846
4	01623	4	02381	4	03128	4	03860
5	01639	5	02396	5	03142	5	03875
6	01653	6	02411	6	03157	6	03889
7	01669	7	02426	7	03172	7	03904
8	01683	8	02441	8	03187	8	03918
9	01698	9	02456	9	03201	9	03933
11,0	0,01714	16,0	0,02471	21,0	0,03216	26,0	0,03948
1	01729	1	02486	1	03231	1	03963
2	01744	2	02501	2	03246	2	03977
3	01759	3	02516	3	03261	3	03992
4	01775	4	02531	4	03275	4	04006
5	01790	5	02546	5	03290	5	04021
6	01805	6	02561	6	03305	6	04035
7	01820	7	02576	7	03320	7	04050
8	01836	8	02591	8	03334	8	04064
9	01851	9	02606	9	03349	9	04079
12,0	0,01867	17,0	0,02621	22,0	0,03363	27,0	0,04093
1	01882	1	02636	1	03378	1	04107
2	01897	2	02651	2	03393	2	04122
3	01912	3	02666	3	03408	3	04136
4	01928	4	02681	4	03422	4	04150
5	01943	5	02696	5	03437	5	04165
6	01958	6	02711	6	03452	6	04179
7	01973	7	02726	7	03466	7	04193
8	01989	8	02741	8	03481	8	04208
9	02004	9	02756	9	03496	9	04222
13,0	0,02019	18,0	0,02771	23,0	0,03510	28,0	0,04237
1	02034	1	02786	1	03525	1	04251
2	02049	2	02801	2	03539	2	04266
3	02064	3	02816	3	03554	3	04280
4	02079	4	02831	4	03568	4	04295
5	02095	5	02846	5	03583	5	04309
6	02110	6	02861	6	03598	6	04323
7	02125	7	02876	7	03612	7	04338
8	02140	8	02891	8	03627	8	04352
9	02155	9	02906	9	03642	9	04367
14,0	0,02170	19,0	0,02921	24,0	0,03656	29,0	0,04381
1	02185	1	02936	1	03671	1	04395
2	02200	2	02951	2	03685	2	04410
3	02215	3	02965	3	03700	3	04424
4	02230	4	02980	4	03714	4	04438
5	02246	5	02995	5	03729	5	04453
6	02261	6	03009	6	03744	6	04467
7	02276	7	03024	7	03758	7	04482
8	02291	8	03039	8	03772	8	04496
9	02306	9	03053	9	03787	9	04510

Tabelle C.

B — b	Correct	B — b	Correct	B — b	Correct	B — b	Correct
200	0,0342	400	0,0684	600	0,1027	800	0,1369
10	0,0359	10	0,0702	10	0,1044	10	0,1386
20	0,0376	20	0,0719	20	0,1061	20	0,1403
30	0,0393	30	0,0736	30	0,1078	30	0,1420
40	0,0411	40	0,0753	40	0,1095	40	0,1437
50	0,0428	50	0,0770	50	0,1112	50	0,1454
60	0,0445	60	0,0787	60	0,1129	60	0,1471
70	0,0462	70	0,0804	70	0,1146	70	0,1489
80	0,0479	80	0,0821	80	0,1163	80	0,1506
90	0,0496	90	0,0838	90	0,1181	90	0,1523
300	0,0513	500	0,0856	700	0,1198	900	0,1540
10	0,0530	10	0,0873	10	0,1215	10	0,1557
20	0,0548	20	0,0890	20	0,1232	20	0,1574
30	0,0565	30	0,0907	30	0,1249	30	0,1591
40	0,0582	40	0,0924	40	0,1266	40	0,1608
50	0,0599	50	0,0941	50	0,1283	50	0,1625
60	0,0616	60	0,0958	60	0,1300	60	0,1643
70	0,0633	70	0,0975	70	0,1317	70	0,1660
80	0,0650	80	0,0992	80	0,1335	80	0,1677
90	0,0667	90	0,1009	90	0,1352	90	0,1694
						1000	0,1711

Ist so die Luft gemessen, so läßt man eine hinreichende Menge in einer kleinen Flasche aus Zink und verdünnter Schwefelsäure entwickelten und über ein Stück Kali geleiteten Wasserstoffes im Eudiometer aufsteigen und liest wieder ab. Nun läßt man zwischen den Platindrähten [1]) einen Inductionsfunken [2]) überspringen (weniger bequem ist Reibungselektricität) und mißt nach Ausgleich der Temperatur das verschwundene Gasvolum. Zu dem während der Explosion

[1]) Nach Riban sollen die Funkendrähte nicht an gegenüberliegenden Stellen der Kuppe das Glas durchsetzen und in das Innere hineinragen, sondern dicht neben einander durch die Glaswandung geführt werden und mit der inneren Glasoberfläche abschneiden [Bull. soc. chim. (1881), 35, 482].

[2]) Als Elektricitätserreger empfiehlt sich das Bunsen'sche Taucherelement, dessen Füllung aus 1 Thl. Kaliumdichromat, 2 Thln. Schwefelsäure und 12 Thln. Wasser besteht (Dingl. 1876, 220, *43).

erforderlichen Verschluß des Eudiometers dient eine mit dickem vulcanisirten Kautschuk überzogene Korkplatte (Fig. 172), die so gestaltet ist, daß sie fest auf der Bodenwölbung der Quecksilberwanne aufliegt. Gegen diese Platte wird das Eudiometer mit seinem offenen, unter Quecksilber befindlichen Ende gepreßt und mittelst eines Halterarmes, in welchem sich eine mit Kork ausgefütterte Vertiefung befindet, festgeklemmt.

Fig. 172.



Bunsen fand so z. B.

	Vol.	Druck	Temp.	Vol. bei 0° und 1 m Druck
Angewandtes Luftvolum . . .	851,2	0,5468	6	455,41
Nach Zulassung von H	1010,1	0,6979	6	689,77
Nach der Explosion	816,9	0,5051	6	403,73

Da $^1/_3$ des verschwundenen Volums Sauerstoff war [1]), so enthielt diese Luft 20,889 Proc. Sauerstoff. In 27 Analysen fand Bunsen im Januar und Februar 1846 in Marburg von 20,97 bis 20,84 Proc. Sauerstoff.

Nach Bunsen ist die Bestimmung des Sauerstoffes durch Absorption mit einer Phosphorkugel nicht empfehlenswerth. Er wendet daher, nach Liebig's [2]) Vorschlage, eine alkalische concentrirte Lösung von pyrogallussaurem Kali an, welche am besten vermittelst einer mit diesem Salze getränkten festen Papiermaché-kugel mit dem Gase in Berührung gebracht wird. Die Absorption geht zwar etwas schwierig, aber doch vollständig von Statten, besonders wenn man die Kugel einmal erneuert. Der zurückbleibende Stickstoff muß mit einer möglichst wenig wasserhaltigen Aetzkalikugel getrocknet werden. Sind noch andere, durch Kalihydrat absorbirbare Gase vorhanden, so muß man dieselben vor der Anwendung des pyrogallussauren Kalis bestimmen. Bunsen fand so:

	Vol.	Druck	Temp.	Vol. bei 0° und 1 m Druck
Angewandte Luft	368,9	0,5759	3,1	210,08
Nach Absorption des O	313,8	0,5358	3,1	166,25

	Gefunden	Wirkliche Zusammensetzung
Stickstoff	79,14	79,04
Sauerstoff . . .	20,86	20,96
	100,00	100,00

Nach den Versuchen von Boussingault, Calvert und Cloëz [3]) entwickelt sich bei der Absorption von Sauerstoff durch pyrogallussaures Kali stets Kohlenoxyd und zwar um so mehr, je stärker die entsprechende Lösung und je mehr Sauerstoff vorhanden ist. Dieser Fehler betrug also bei dem Bunsen'schen Versuche trotz der concentrirten Lösung nur 0,1 Proc. Er wird verschwindend klein bei Ver-

[1]) Nach Bunsen hat man noch das Volumen des bei der Verbrennung gebildeten Wassers von dem bei der Verbrennung verschwundenen Gasvolumen abzuziehen. Zu dieser Correction genügt es, das verschwundene, auf 1 m Druck und 0° reducirte Gasvolumen mit 0,0007 zu multipliciren und das so erhaltene Product von der beobachteten Volumenverminderung abzuziehen. — [2]) Dingl. 1851, **119**, 196. — [3]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1864, 348.

wendung verdünnter Lösung, wie man sie bei dem später noch näher beschriebenen Apparate (Fig. 173) anwenden kann.

Fig. 173.

Nachdem man durch entsprechendes Heben und Senken der Flasche *L* das Druckrohr *D*, Meßrohr *M* und Arbeitsrohr *A* mit Quecksilber gefüllt hat, läßt

man in letzteres die zu untersuchende Luft aufsteigen, vom Trichter t aus etwas Kalilauge eintreten, saugt die so von Kohlensäure befreite Luft durch Senken der Flasche L in das Meßrohr M und schließt den Hahn h. Ist der Quecksilberstand in beiden Röhren M und D abgelesen, so läßt man durch Heben der Flasche L und Oeffnen des Quetschhahnes auf dem Schlauche g das Quecksilber im Rohre D aufsteigen, um dann nochmals beide Quecksilbersäulen abzulesen und so die in M eingeschlossene Luft unter dem Druck von zwei verschiedenen Quecksilbersäulen messen zu können. Ist im Arbeitsrohr A noch Luft zurückgeblieben, welche nicht im Rohre M Platz fand, so bringt man durch den Dreiweghahn d A mit der Quecksilberflasche r in Verbindung, öffnet den Quetschhahn auf dem Schlauche a, setzt die Flasche r auf die kleine Console z, so daß das Quecksilber durch Schlauch b nach q abfließt und in Folge des dadurch in r gebildeten Vacuums das Quecksilber der Wanne Q in A aufsteigt. Ist so die Luft nach r übergesaugt, Hahnrohr und Schlauch a mit Quecksilber gefüllt, so schließt man den Quetschhahn wieder. Nun bringt man in den Trichter t 0,8 bis 1 ccm Kalilauge und ebensoviel Pyrogallussäurelösung (1 : 10), welche erforderlichenfalls vorher durch Erwärmen möglichst luftfrei gemacht sind, und läßt die Flüssigkeit durch vorsichtiges Oeffnen des Hahnes n nach A übertreten, so daß aber noch einige Tropfen in t zurückbleiben, um den Eintritt von Luft zu verhindern. Man öffnet die Hähne h und d, treibt die Luft durch Heben der Flasche L von M nach A, saugt nach einigen Minuten nach M zurück, nochmals nach A, nach beendeter Absorption wieder nach M und schließt den Hahn h, sobald die Absorptionsflüssigkeit d erreicht. Nun wird wie vorhin doppelt abgelesen und, um sich von der völligen Absorption zu überzeugen, das Gas noch einmal nach A gebracht und wieder gemessen. Ist so die Analyse beendet, so saugt man mittelst der Flaschen r und q durch Schlauch a und Hahn d in vorhin erwähnter Weise zunächst die Absorptionsflüssigkeit aus A, läßt durch den Trichter t etwas Wasser eintreten, saugt dieses durch a ab und so fort, bis Rohr A völlig gereinigt ist. Erforderlichenfalls läßt man dann auch etwas Wasser nach M übertreten und treibt dieses durch Heben der Flasche L bei entsprechender Stellung des Hahnes d nach r, worauf man sofort zur nächsten Analyse schreiten kann. Rohr M ist daher immer hinreichend feucht.

Bei einer so im Juli 1880 ausgeführten Luftanalyse ergab die Ablesung des Barometers 756,6 mm bei 20,8°, so daß bei 2,7 mm Correction (S. 192) $B = 753{,}9$ mm. Der Ablesung im Meßrohr $M = 546{,}0$ entspricht $v = 553{,}5$. Der Quecksilberstand im Druckrohr D war ebenfalls 546,0, folglich $b = 0$, und da bei 20,8° $e = 18{,}3$ mm, so ist $(B - b - e) = 735{,}6$ mm und $V = 378{,}34$, da:

$$\begin{aligned} \log 553{,}5 \ldots\ldots\ldots\ldots &\; 2{,}74312 \\ \log 735{,}6 \ldots\ldots\ldots\ldots &\; 2{,}86664 \\ \log 1000 \cdot (1 + 0{,}00366 \cdot 20{,}8) = &\; 3{,}03187 \\ \hline \text{folglich } \log V \ldots\ldots\ldots &\; 2{,}57789 \\ \text{und } V \ldots\ldots\ldots &\; 378{,}34 \end{aligned}$$

Zusammengestellt mit der zweiten Ablesung:

M	v	D	$(B-b-e)$	V
546,0	553,5	546,0	735,6	378,34
370,0	378,8	29,1	1075,3	378,41
			Mittel .	378,38

Nach vollendeter Absorption war V im Mittel = 299,87, so daß der Sauerstoffgehalt der Luft 20,75 Proc. betrug. Eine in dem gleichen Apparat durch Explosion mit Wasserstoff ausgeführte Bestimmung ergab 20,69 Procent; mit dem Apparat Fig. 168 wurden 20,70 Procent und mit dem Apparat Fig. 178 (S. 207) 20,8 und 20,7 Proc. gefunden.

Während somit Jolly (S. 185) Schwankungen im Sauerstoffgehalt von 0,49 Proc., Bunsen (S. 193) von nur 0,13 Proc. fanden, Morley [1]) von 0,16 Proc., betrug nach A. R. Leeds [2]) der Sauerstoff der Atmosphäre in den Vereinigten Staaten vom Juli bis September 1876 20,82 bis 21,03 Procent. Lewy [3]) fand:

	Kohlensäure in 10 000 Thln.	Sauerstoff Proc.
Paris, September 1847	5,14	21,014
Havre, November 1847	3,60	20,895
Auf dem Meer bei den Antillen, December 1847	3,39— 5,50	20,96—21,06
Neugranada 1848	3,15—24,48	20,33—21,05
Bogata	49,04	21,03

Macagno (S. 205) fand in Palermo bis 20,984 Proc. Sauerstoff, viel weniger aber, wenn der Sirocco aus Afrika bläst, wie folgende Analysen zeigen:

Im Jahre 1879	Sauerstoff Proc.
März 20	19,994
„ 21	20,008
„ 22	20,064
April 15	19,998
Mai 29	20,021
„ 30	20,032
„ 31	20,017

Weitere Versuche müssen die näheren Ursachen und Folgen dieser Schwankungen feststellen [4]).

Ozon. Die Nachweisung dieser eigenthümlichen Modification des Sauerstoffes ist noch sehr zweifelhafter Natur. Hebt doch neuerdings E. Schöne [5]) hervor, daß die Gegenwart von Ozon in der atmosphärischen Luft überhaupt noch nicht bewiesen sei, sondern nur die des Wasserstoffsuperoxydes. Das am häufigsten angewendete Jodkaliumpapier ist zur Nachweisung von Ozon völlig unbrauchbar, da seine Färbung lediglich von der atmosphärischen Feuchtigkeit abhängt. Unabhängig davon ist das Thalliumpapier, zu dessen Darstellung in eine kochende Lösung von Barytumhydrat eine äquivalente Menge Thalliumsulfatlösung eingetragen wird. Die erhaltene Lösung von Thalliumoxydulhydrat wird im Vacuum so weit abgedampft, daß 100 ccm 10 g Hydrat enthalten; dann wird Filtrirpapier damit getränkt und dieses getrocknet der zu untersuchenden Luft ausgesetzt. Die Stärke der Färbung dieser Papiere durch Bildung von braunem Oxyd ist nach den Untersuchungen von Schöne bis jetzt dem Gehalte der Luft an Wasserstoff-

[1]) Chem. News **40**, 185; Americ. chem. journ. 1880, **2**, 276. — [2]) Chem. News **38**, 224, 257. — [3]) Ann. chim. phys. 1852, **34**, 5. — [4]) Vergl. Poggend. Ann. **135**, 135; Zeitschr. f. Met. 1875, 32. — [5]) Ber. deutsch. chem. Ges. 1880, 1503.

superoxyd entsprechend gewesen. Noch ungewisser ist die quantitative Bestimmung des angeblichen Ozons mittelst einer Lösung von arsenigsaurem Kalium und Bestimmung der gebildeten Arsensäure durch Titriren mit Jodkalium [1]). Bevor daher kein zuverlässigeres Reagens für Ozon gefunden ist, als die bisher gebräuchlichen, welche auch von Salpetrigsäure, Schwefelwasserstoff, Schwefligsäure und anderen Bestandtheilen der Atmosphäre beeinflußt werden, erscheint die Untersuchung der Luft auf Ozon völlig zwecklos.

Kohlensäure. Das Vorhandensein von Kohlensäure in der atmosphärischen Luft erkannte schon van Helmont im Anfang des 17. Jahrhunderts. Humboldt, Gilbert u. A. [2]) versuchten zuerst dieselbe quantitativ zu bestimmen. Dalton versuchte den Kohlensäuregehalt dadurch zu bestimmen, daß er durch Kalkwasser von bestimmtem Gehalte so lange Luft hindurch leitete bis dieses gesättigt war. In ähnlicher Weise saugen G. Lunge [3]) und Wiel [4]) die zu untersuchende Luft durch Barytwasser bis dieses deutlich getrübt wird. Genaue Resultate vermochte Verfasser mit diesem „minimetrischen“ Verfahren nicht zu erreichen [5]).

Brunner [6]), Pettenkofer [7]), Schlagintweit [8]) u. A. saugten die Luft durch Kalilauge und bestimmten die Kohlensäure durch die Gewichtszunahme. J. Fodor [9]) zeigt, daß dieses Verfahren, wegen der Feuchtigkeit der Luft, unbrauchbar ist.

Lewy (S. 196) bestimmte die Kohlensäure im Eudiometer; das Verfahren kann nicht genau sein. Cl. Winkler [10]) verwendet zu gleichem Zweck ein cylindrisches, etwa 5 Liter fassendes Glasgefäß, welches an beiden Enden in Rohransätzen ausläuft und mit lackirtem Blechmantel *a* (Fig. 174, a. f. S.) umgeben ist. Den Zwischenraum füllt man durch Hahn *h* mit Wasser. Auf den oberen Rohrstutzen des Glasgefäßes ist ein cylindrischer Trichter *b* aufgesetzt; die Verbindung vermittelt ein starker durch den Quetschhahn *c* abschließbarer Kautschukschlauch. Der untere Rohransatz ist mit einer Marke *m* versehen und bis zu dieser ist der Inhalt des Glasgefäßes ein- für allemal genau ausgemessen, sein Betrag aber dicht über der Marke verzeichnet. Auch dieser Rohransatz endet in einen Kautschukschlauch mit Quetschhahn *e*. Das Gefäß *a* ruht in den Lagern eines eisernen Stativs und kann durch eine Kurbel mit Zahngetriebe gedreht, mittelst des Stiftes *s* aber festgelegt werden.

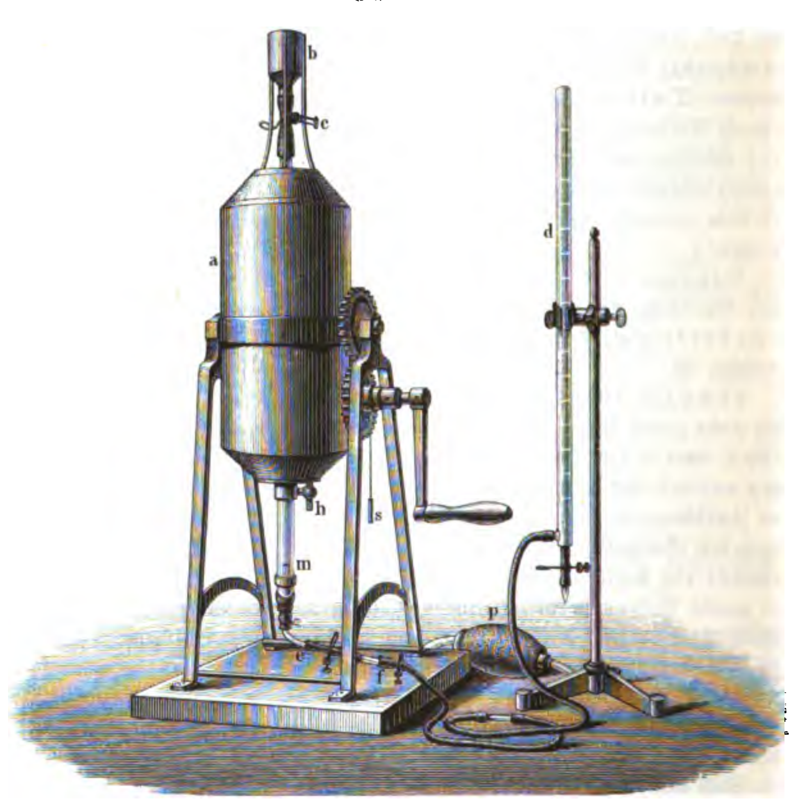
Soll nun mit Hülfe dieses Apparates eine Luftuntersuchung vorgenommen werden, so setzt man die Kautschukpumpe *p* beim Quetschhahn *e* an, öffnet denselben und ebenso den oberen Quetschhahn *c* und pumpt so lange von der zu untersuchenden Luft ein, bis man sicher ist, daß das Gefäß sich völlig damit gefüllt hat. Dann schließt man beide Quetschhähne wieder, setzt die Bürette *d* an und

---

[1]) Ann. de l'Observ. d. Montsouris 1879, 416. — [2]) Ann. chim. phys. 1830, **44**, 1. — [3]) Dingl. 1879, **231**, *331, 384. — [4]) Vierteljahrschr. f. öffentl. Gesundh. 1879, *235. — [5]) Vgl. Vögler, Luftverderbniß (Schaffhausen 1878), 11. — [6]) Poggend. Ann. **24**, 569. — [7]) Dingl. 1851, **119**, 40, 282; **120**, 418. — [8]) Quarterly journ. of the chem. soc. 1861, 22. — [9]) Fodor, Luft, Boden und Wasser (Braunschweig 1881), 20. — [10]) Winkler, Untersuchung der Industriegase, 385.

läßt aus dieser so viel Wasser zufließen, daß dasselbe gerade bis zur Marke *m* steigt. Man wendet sodann das Gefäß *a* mittelst der Kurbel mehrmals hin und her, damit seine Innenwand sich befeuchte, die Luft sich mit Wasserdampf sättige und Temperaturausgleichung stattfinde; dann stellt man wieder senkrecht und läßt das Wasser zusammenfließen, bis es die Marke *m* eben wieder erreicht hat. Durch momentanes Oeffnen des Quetschhahnes *c* muß nun noch der vorhandene Ueber-

Fig. 174.



druck beseitigt werden, worauf sich ein genau gemessenes, mit Feuchtigkeit gesättigtes Luftvolumen im Apparat befindet. Durch vorsichtiges Absaugen entfernt man zunächst die geringe unter der Marke befindliche Wassermenge, gießt dann in den Trichter *b* etwas concentrirte Kalilauge, läßt dieselbe durch Oeffnen des Quetschhahnes *c* einfließen und spült in gleicher Weise mehrmals mit geringen Mengen Wasser nach, immer den Quetschhahn rechtzeitig wieder schließend. Dann dreht man den Apparat mehrmals um seine Achse, läßt ihn wohl auch zeitweilig horizontal stehen und kann nach etwa einer Minute vollkommener Absorption sicher sein. Man giebt aufs Neue Verticalstellung und beginnt das Auswaschen,

indem man den Trichter b mit Wasser füllt, sodann den unteren Quetschhahn e öffnet, die Kalilauge durch einen angesteckten Schlauch abfließen und hierauf in fortgesetztem Wechsel durch c Wasser ein- und durch e wieder austreten läßt. Der Apparat bleibt fünf Minuten senkrecht stehen, damit das Wasser zusammenfließt, welches man dann soweit durch e abfließen läßt, daß sein Spiegel eben mit der Marke m zusammenfällt. Dann setzt man in den Hals des Trichters b ein mit Wasser gefülltes kleines Manometer, verbindet den mit Wasser gefüllten Bürettenschlauch f mit e, stellt das Wasser in der Bürette auf die Nullmarke ein und öffnet Quetschhahn c. Man läßt jetzt aus der Bürette so lange Wasser in das Gefäß eintreten, bis der Druckunterschied ausgeglichen ist, worauf das Volum des eingetretenen Wassers dem der absorbirten Kohlensäure entspricht. Die mit diesem Apparate erhaltenen Angaben sollen nach Winkler genau sein.

A. Müntz und E. Aubin[1]) verwenden eine an beiden Enden ausgezogene Glasröhre mit Bimssteinstücken, welche mit Kalilauge getränkt sind; dann werden die beiden Enden zugeschmolzen. An den Orten, wo man die Luft untersuchen will, werden die Röhren geöffnet, einige 100 Liter Luft hindurchgeleitet und dann wieder verschlossen; sie können so beliebig lange aufbewahrt bleiben, um schließlich im Laboratorium untersucht zu werden. Zu diesem Zwecke wird die Röhre an dem einen Ende mit der Luftpumpe verbunden, und nachdem das Vacuum in derselben hergestellt ist, läßt man durch das andere Ende verdünnte Schwefelsäure in die Röhre treten, welche die Kohlensäure verdrängt, die unter einer Glocke gesammelt und gemessen werden kann. In ähnlicher Weise saugt Lévy[2]) im Observatorium von Montsouris 3,5 cbm Luft durch Kalilauge, neutralisirt diese dann mit Salzsäure und mißt die entwickelte Kohlensäure. — Mit diesem Verfahren wird man nur schwer genaue Resultate erzielen können.

Nach Kapusstin[3]) kann man den Kohlensäuregehalt der Luft dadurch bestimmen, daß man Natriumhydrat in 90 procentigem Alkohol löst, die Lösung mit Luft schüttelt und hernach so viel Wasser hinzusetzt, als zur Auflösung des Carbonates erforderlich erscheint. Nach seinen Untersuchungen ergiebt sich, daß, wenn man zur Auflösung des Carbonates n Cubikcentimeter Wasser (von gewöhnlicher Temperatur) verwendet hat, sich die Anzahl der Cubikcentimeter Kohlensäure (x) bei 760 mm und 0° aus der Gleichung berechnen läßt: $x = \frac{n - 6,5}{0,55}$.

Der Versuch wird in folgender Weise ausgeführt: Um den Kohlensäuregehalt der in einer Flasche von 5 Liter enthaltenen Luft zu bestimmen, giebt man in die Flasche 75 ccm weingeistige Natronlauge (1 Liter der Lösung enthält 0,5 g $NaOH$), schüttelt alsdann $1/2$ Stunde lang, gießt die Flüssigkeit aus, nimmt von derselben unter Umrühren 25 ccm, setzt zu derselben aus einer Bürette nach und nach Wasser bis zum Verschwinden der Trübung hinzu und multiplicirt das nach der Formel berechnete Resultat mit 3. — Das Verfahren verspricht sehr wenig brauchbare Resultate.

---

[1]) Compt. rend. 92, 247, 1229. — [2]) Annuaire de l'Observatoire Montsouris 1879. — [3]) Berichte deutsch. chem. Ges. 1880, 2376.

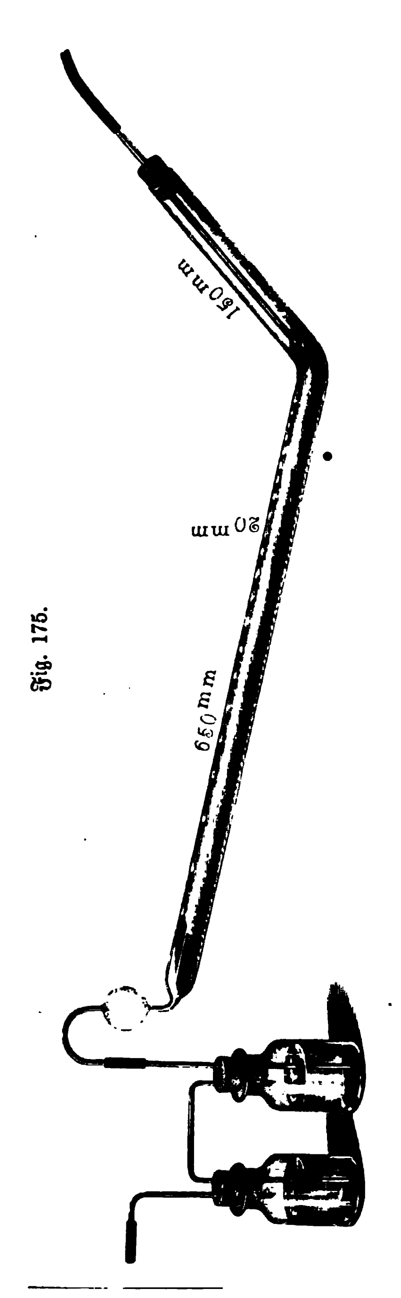


Fig. 175.

Im Allgemeinen sind die alkalischen Erden zu derartigen Bestimmungen geeigneter als die Alkalien. Th. Saussure[1]) füllte etwa 40 Liter fassende Flaschen mit der zu untersuchenden Luft, gab 100 ccm Barytwasser hinzu, schüttelte und ließ stehen. Das ausgeschiedene kohlensaure Baryum wurde in Salzsäure gelöst, mit Natriumsulfat gefällt und als schwefelsaures Baryum bestimmt.

Besser ist das Verfahren von Mohr[2]). Derselbe saugt etwa 20 bis 30 Liter Luft mittels eines Aspirators durch eine lange etwas geneigte (sog. Pettenkofer'sche) Glasröhre (Fig. 175) und zwei kleine Waschflaschen, welche sämmtlich eine Lösung von Aetzkali und Barythydrat enthalten. Die aus der nach oben gebogenen Spitze des Zuleitungsrohres strömende Luft steigt in kleinen Blasen, welche wie eine Perlenschnur regelmäßig hintereinander folgen, an dem wenig geneigten Schenkel in die Höhe und giebt ihre Kohlensäure meist so vollständig ab, daß die Barytlösung der ersten Waschflasche nur selten, die der zweiten wohl nie getrübt wird. Das gebildete kohlensaure Baryum wird abfiltrirt, rasch mit ausgekochtem Wasser abgewaschen, in Salzsäure gelöst, zum Trocken verdampft und nun mit $^1/_{10}$ Silberlösung und Kaliumchromat titrirt. 1 ccm Silberlösung entspricht 2,2 mg Kohlensäure. Das gleiche Verfahren wandte Gilm[3]) an.

Von Pettenkofer u. A.[4]) wird vorgezogen, die Menge des gesättigten Baryts dierect alkalimetrisch zu bestimmen (S. 203). Fodor[5]) füllt zu diesem Zweck in das Pettenkofer'sche Rohr 100 ccm Kalk- oder Barytwasser, welchem etwas Chlorcalcium oder Chlorbaryum zugesetzt ist. Zur Erkennung ob die Absorption eine vollständige ist, legt er hinter das schräge

[1]) Ann. chim. phys. (1830) 44, 1; Poggend. Ann. 19, 391. — [2]) Mohr: Titrirmethode 4. Aufl., 558. — [3]) Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1857, 257. — [4]) Ann.

Rohr an Stelle der Waschflaschen (Fig. 175) einen Liebig'schen Kaliapparat mit Barytwasser. Derselbe hat die auffallende Beobachtung gemacht, daß der Kohlensäuregehalt um so geringer ausfällt, je größer die durchgesaugte Luftmenge ist, vielleicht in Folge von Bicarbonatbildung. Ist dieses der Fall, so dürfte das Mohr'sche Verfahren, weil von diesem Fehler frei, vorzuziehen sein.

Nach Reiset[1]) tritt die angesaugte Luft zunächst in ein U-förmiges, mit durch concentrirte Schwefelsäure befeuchteten Bimssteinstücken gefülltes Rohr J (Fig. 176), um ihren Wassergehalt an diese abzugeben, während die gebildete verdünnte Säure sich in der unten angeschmolzenen Kugel sammelt. Die trockene Luft tritt nun durch das Rohr t in das Absorptionsgefäß F, in dessen Halse ein 0,5 m langer Glascylinder T mittels Gummikappe befestigt ist. In diesen Cylinder sind drei siebartig durchlöcherte Platinkapseln a, c und e von 4 cm Durchmesser eingeschoben. Man bringt in denselben 300 ccm Barytwasser und verbindet ihn mit einem zweiten Trockenrohr. In Folge der feinen Vertheilung der durchgesaugten Luft durch die Platinsiebe wird die Kohlensäure völlig von dem Barytwasser zurückgehalten. Sind etwa 600 Liter Luft hindurchgesaugt, so bestimmt man unter Berücksichtigung des verdunsteten und vom zweiten Rohre aufgenommenen Wassers durch Titration die Menge des ausgefällten Baryts.

Fig. 176.



Das gleiche Verfahren ist mit der einfachen Vorrichtung Fig. 179 (S. 216), 100 ccm Kalk- oder Barytwasser und etwa 200 Liter Luft auszuführen. Der während des Versuchs durch Verdunstung eingetretene Gewichtsverlust des gefüllten Apparates wird durch Zuführen von Wasser wieder ausgeglichen. Das Verfahren empfiehlt sich da, wo man den durchschnittlichen Kohlensäuregehalt der Luft innerhalb eines Tages oder einer Nacht feststellen will.

Wohl am häufigsten wird folgendes von Pettenkofer[2]) vorgeschlagenes Verfahren angewendet, welches gestattet Augenblicksproben zu nehmen. Zu diesem Zweck füllt er eine etwa 6 Liter fassende Flasche, deren Rauminhalt vorher ausgemessen war, durch Einblasen mittels eines Handblasebalges mit der zu unter-

Chem. Pharm. 2. Suppl., 1. Landwirthsch. Versuchsstat. (1871), 14, 366. Gorup-Besanez, Physiologische Chemie (Braunschweig 1874), 840. — [5]) Fodor, Luft, Boden und Wasser, S. 15.

[1]) Compt. rend. **90**, 1144. — [2]) Ann. Chem. Pharm. 2. Suppl., 23; Dingl. 1862, **163**, 53.

suchenden Luft, läßt 45 ccm Kalkwasser einfließen und schüttelt um. Nach 1 bis 2 Stunden wird die Flüssigkeit in ein enges Becherglas gegeben, und in 20 ccm durch Titriren mit Oxalsäure der nicht gefällte Kalk bestimmt. Als Indicator verwendet Pettenkofer die Tüpfelprobe auf Kurkumapapier.

Nach W. Hesse[1]) wird die nur 0,13 bis 0,5 Liter fassende Flasche in dem betreffenden Raume mit Luft gefüllt und mit einer Gummikappe verschlossen, die einen Schlitz zur Aufnahme der Pipettenspitze enthält; über diese wird eine zweite undurchbohrte Kappe gelegt und die Flasche womöglich in eine kühlere und kohlensäurefreie Luft gebracht, die obere Klappe entfernt, die Pipette in den Schlitz eingesetzt und die Kappe gleichzeitig noch durchstochen mit der Canüle einer Injectionsspritze, damit die Luft entweichen kann. Das Volum des zugesetzten Barytwassers wird von dem Inhalte der Flasche abgezogen. Die angewendete Oxalsäurelösung enthält 0,5727 g im Liter; 10 ccm entsprechen 2 mg CO_2; das Barytwasser ist so eingerichtet, daß 10 ccm 20 bis 25 ccm dieser Oxalsäurelösung neutralisiren. Münnich[2]) will diese Bestimmungen mit 0,5 bis 1 Liter fassenden Flaschen ausführen und statt des sonst allgemein gebräuchlichen Kalk- oder Barytwassers eine 2 proc. Strontianlösung verwenden, mit Phenolphtalein als Indicator. — Die Anwendung so geringer Luftmengen erscheint etwas bedenklich.

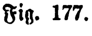


Fig. 177.



Verf. führt dieses Pettenkofer'sche Verfahren in folgender Weise aus. Der Inhalt der etwa 6 Liter fassenden Flasche *A* ist bei aufgesetztem Gummistopfen, dessen eine Durchbohrung ein bis fast zum Boden der Flasche reichendes Rohr *a*, die andere ein mit der Unterfläche des Stopfens abschneidendes Glasrohr *c* trägt, genau ausgemessen.

Man treibt nun mittels eines kleinen Gummi- oder Handgebläses durch das Rohr *a* etwa 30 Liter der zu untersuchenden Luft ein, während der Ueberschuß durch *c* entweicht, und notirt Barometerstand, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Eine kleine, mit 50 ccm Kalk- oder Barytwasser[3]) fast gefüllte Flasche *B*, deren doppelt durchbohrter Stopfen ebenfalls zwei Glasröhren trägt, wird nun mittels kurzer Gummischläuche so mit der

[1]) Zeitschr. f. Biolog. 14, 29; Eulenberg's Viertelj. 31, 2. — [2]) Militärärztl. Zeitschr. 9, 97. — [3]) Zur Herstellung des Kalkwassers wird frisch gelöschter Kalk mit etwa 20 Thln. Wasser geschüttelt, dieses nach dem Absetzen entfernt, der Kalk nochmals in gleicher Weise mit Wasser gewaschen, um etwaiges Alkali zu entfernen, nun mit

Flasche *A* verbunden, daß beim Umkehren der Flasche *B* (s. Fig. 177) das Kalkwasser durch das Rohr *a* in die Flasche *A* gelangt, während die dadurch verdrängte Luft durch die Rohre *c* und *e* nach *B* aufsteigt und hier ebenfalls ihre Kohlensäure an das Kalkwasser abgiebt. Man schwenkt die Flasche *A* einige Male um, läßt noch etwa 10 Minuten durch Umkehrung der ganzen Vorrichtung die Absorptionsflüssigkeit durch die Rohre *c* und *e* nach *B* fließen, löst die Schläuche von der Flasche *A* und schließt sie mittels Quetschhahn, nachdem man das Rohr *e* soweit aufgezogen hat, daß es etwa 1 cm vom Boden der Flasche *B* mündet. Hat sich der Niederschlag völlig abgesetzt, so steckt man die Spitze einer Pipette in die Mündung des mit *e* verbundenen Schlauches, nimmt die Quetschhähne ab und saugt 20 ccm der klaren Flüssigkeit ab. Diese werden in einem 50-ccm-Fläschchen mit einigen Tropfen empfindlicher Lackmuslösung [1]) versetzt und mit Zehnteloxalsäure (6,3 g $H_2C_2O_4 . 2H_2O$ im Liter) titrirt; die Bestimmung wird mit 20 ccm der klaren Lösung wiederholt und das Durchschnittsresultat mit 2,5 multiplicirt in Rechnung gesetzt.

Die Reduction des untersuchten Luftvolums geschieht nach der Formel (vgl. S. 189) $V = \frac{v.(B - e)}{760 . 1 + (0,00366 . t)}$. Jeder Cubikcentimeter Oxalsäurelösung, welcher nach der Absorption von 50 ccm Kalkwasser weniger gebraucht wird als vorher, entspricht 2,2 mg Kohlensäure (richtiger Kohlendioxyd CO_2) oder, da 1 ccm derselben bei 0° und 760 mm 1,978 mg wiegt (S. 139), 1,112 ccm. Sind viele Bestimmungen auszuführen, so kann man zur Vereinfachung der Rechnung auch 5,665 g Oxalsäure auf 1 Liter lösen; 1 ccm dieser Lösung entspricht dann 1 ccm Kohlendioxyd.

Bei Untersuchung der freien atmosphärischen Luft mit nur geringem Kohlensäuregehalt kann man die Maßflüssigkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit auf halben Gehalt verdünnen.

Der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft wurde bis in die neuere Zeit allgemein auf Grund der Untersuchungen von Saussure und Boussingault zu 4 bis 4,15 auf 10 000 angenommen. Dagegen fand Schultze [2]) als Mittel seiner drei Jahre (1869 bis 1871) lang täglich ausgeführten Bestimmungen in Rostock 2,9197, Hässelbarth und Fittbogen [3]) auf dem Hofe der Versuchsstation Dahna (1874 bis 1875) im Mittel von 357 Bestimmungen 3,34 und zwar im September 3,4056, October 3,3397, November 3,4277, December 3,2487; (1875) Januar 3,2584, Februar 3,2220, März 3,4135, April 3,4347, Mai 3,2994, Juni 3,3137, Juli 3,3149, August 3,4042. Der geringste Ge-

---

mehr Wasser geschüttelt und nach dem völligen Absitzen das klare Kalkwasser abgehoben; zur Unschädlichmachung der letzten Alkalispuren kann man einige Tropfen reiner Chlorcalciumlösung zusetzen. Oder man löst etwa 4 g Barymhydrat und 0,2 g Chlorbaryum im Liter Wasser; beide Lösungen werden vor atmosphärischer Kohlensäure geschützt aufbewahrt.

[1]) Lackmus wird zunächst mit Alkohol, dann mit Wasser ausgezogen; letztere Lösung ist die gewünschte. Zeitschr. f. analyt. Chem. 1870, 252. — [2]) Landwirthschaftl. Versuchsstation 9, 217; 14, 366. — [3]) Landwirthschaftl. Jahrb. 8, 669; Dingl. 1875, 218, 532.

halt war 2,70, der höchste 4,17, Wolffhügel[1]) fand (1875) in München als Mittel von 200 Analysen 3,757. Fodor fand als Jahresmittel in Budapest für d. J. 1877 4,135, für 1878 3,735 und für 1878 3,788. Aus 49 Kohlensäurebestimmungen, welche P. Truchot[2]) vom 7. Januar bis 14. April 1876 in Clermont ausführte, ergaben sich als Grenzwerthe an schönen Tagen 2,1 und 4,2, im Mittel 3,3. An Regentagen erhielt er 4,2 und 5,1, im Mittel 4,6 und an Tagen, wo der Boden mit Schnee bedeckt war, 4,4 und 8,7, im Mittel 5,6 Vol. Kohlensäure. Nach A. Levy[3]) schwankte der Kohlensäuregehalt der Luft im Park von Montsouris zwischen 2,2 bis 3,6 Vol. und zwar

	1876	1877	1878	1879		1876	1877	1878	1879
Jan. . .	„	2,80	3,33	3,56	Juli . . .	2,61	2,77	3,42	3,46
Febr. . .	„	2,82	3,35	3,57	Aug. . .	„	2,67	3,50	3,33
März . .	„	2,76	3,22	3,57	Sept. . .	„	2,80	3,47	3,30
April . .	2,69	2,70	3,31	3,58	Oct. . . .	3,13	2,69	3,53	3,04
Mai . . .	2,49	2,78	3,59	3,56	Nov. . . .	3,07	3,08	3,54	2,55
Juni . . .	2,56	2,80	3,51	3,56	Dec. . . .	2,80	3,44	3,55	2,44

Marié-Davy[4]) glaubt diese Schwankungen auf den Einfluß der Windrichtung zurückführen zu können. J. Reiset[5]) schließt jedoch aus seinen Versuchen, daß derartige Schwankungen lediglich auf die Ungenauigkeit der Untersuchungsmethode zurückzuführen sind und thatsächlich nicht vorkommen. Er fand in Dieppe im Durchschnitt 2,942 Vol. mit Schwankungen von höchstens 0,3. Der Kohlensäuregehalt der Luft im Walde und auf Kleefeldern war fast genau so hoch als auf der Untersuchungsstation, so daß also die Kohlensäure sehr rasch sich in der Luft vertheilt. Die Luft in Paris enthielt 3,027 Vol. Eine andere Versuchsreihe gab auf der Versuchsstation am Tage 2,891, in der Nacht 3,084 Vol. bei einem Gesammtdurchschnitt von 2,978. Bei einem sehr starken Nebel stieg jedoch der Kohlensäuregehalt sogar auf 3,415 Vol. Th. Schlösing[6]) erklärt den gleichmäßigen Kohlensäuregehalt der Atmosphäre durch die ausgleichende Wirkung des Meeres. Müntz und Aubin[7]) fanden in Paris 2,88 bis 4,22, und zwar bei bedecktem Himmel 3,22 bis 4,22, bei klarem Wetter 2,88 bis 3,1; auf der Feldstation fanden sie 2,70 bis 2,99, im Mittel 2,88 am Tage, Nachts 3,00. Am 1. April 1881 ergab sich 9 U. Morgens bei klarem Himmel 2,73, um 1 U. 30 M. bei bedecktem Himmel 2,93 Vol. auf 10 000.

H. Macagno[8]) hat auf der Versuchsstation in Palermo im Jahre 1879 eine Reihe von Luftanalysen ausgeführt. Der Sauerstoff wurde mit pyrogallussaurem Kalium, die Kohlensäure gewichtsanalytisch mit Kalilauge bestimmt. Ferner wurde Luft durch Wasser gesaugt und dieses auf Ammoniak mit dem Neßler'schen Reagens, auf Nitrate mit Indigo und auf organische Stoffe mit übermangansaurem Kalium geprüft. Folgende Tabelle zeigt die Bestandtheile von 100 Liter Luft:

[1]) Zeitschr. f. Biolog. (1879), 15, 98. — [2]) Annal. agronom. 1877, 69. — [3]) Compt. rend. 90, 32. — [4]) Compt. rend. 90, 1287. — [5]) Das. 88, 1007; 90, 1144, 1457. — [6]) Das. 90, 1410. — [7]) Das. 92, 247, 1229. — [8]) Chem. News 41, 97.

Datum	Sauerstoff	Kohlensäure	Salpetersäure	Ammoniak	Organisch	Für 10 Tage Mittlere Temperatur	Regenfall
	Liter	Liter		mg	mg	Grad	mm
Februar 10	—	—	—	—	—	12,4	11,58
" 20	20,879	0,021	—	0,024	0,154	13,6	17,29
" 28	20,891	0,048	—	0,028	0,127	12,8	3,57
März 10	20,715	0,025	—	—	0,115	9,8	9,24
" 20	19,994	0,025	—	—	0,094	13,3	—
" 31	20,888	0,022	—	—	0,070	14,4	30,61
April 10	20,910	0,021	—	Spur	0,076	14,3	32,01
" 20	20,880	0,064	—	—	0,094	15,8	18,45
" 30	20,898	0,045	—	—	0,055	16,0	14,75
Mai 10	20,913	0,005	—	—	0,020	14,6	17,20
" 20	20,902	0,049	—	—	0,072	14,0	16,65
" 31	20,017	0,033	—	0,036	0,142	19,8	2,23
Juni 10	20,894	0,041	—	—	0,107	20,5	—
" 20	20,918	0,043	—	0,040	0,363	22,0	—
" 30	20,915	0,043	—	0,009	0,162	23,5	—
Juli 10	20,977	0,020	Spur	0,010	0,111	23,4	—
" 20	20,984	0,076	—	0,080	0,157	22,6	—
" 31	20,899	0,039	—	—	0,138	23,0	—
August 10	20,910	0,028	Spur	0,005	0,165	25,1	—
" 20	20,888	0,030	—	0,007	0,112	25,1	—
" 31	20,895	0,039	—	0,009	0,131	25,0	—
Mittel I	20,717	0,033	0	0,008	0,102	14,2	173,18
Mittel II	20,920	0,039	Spur	0,009	0,160	23,4	0

Das erste Mittel gilt für die Monate Februar, März, April und Mai, mit Regen, das zweite für Juni, Juli und August, ohne Regen. Demnach ist die Luft nach dem Regen reiner als vorher. Wie weit diese bedeutenden Schwankungen von 0,5 bis 7,6 im Kohlensäuregehalt von der anscheinend mangelhaften Methode herrühren, läßt sich nicht entscheiden. Smith[1]) fand in der Umgebung von Manchester im Mittel 3,69, in der Stadt selbst bis 8,37 Volum.

Fodor (a. a. O. S. 24) schließt aus seinen Versuchen, daß der Kohlensäuregehalt im Winter am geringsten, im Herbst am höchsten ist, die äußersten Grenzen zwischen 2 bis 6 schwanken, daß die Kohlensäure des Abends, namentlich im Herbst zunimmt und wenig durch die Größe der Städte beeinflußt wird, sondern wesentlich durch die Grundluft. Die Zunahme und Schwankungen der

[1]) Smith, Air and Rain (London 1872), 49.

Kohlensäure in der freien Atmosphäre zeigt im größten Theile des Jahres an, daß die Atmosphäre mehr oder weniger Grundluft aufgenommen hat, und dadurch verunreinigt wurde. Diese unreine Grundluft [1]) steigt namentlich im Herbst, ferner des Abends aus dem Boden in die Atmosphäre auf. Demnach würde der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft einen Maßstab für die Verunreinigung mit den Zersetzungsproducten des unreinen Bodens abgeben.

Der Kohlensäuregehalt der Luft in geschlossenen Räumen ist natürlich ungemein wechselnd. Nicht allein, daß auch in unsere Wohnzimmer die Grundluft eindringt [2]), es wird hier auch Kohlensäure erzeugt durch die Beleuchtung, namentlich aber durch die Athmung [3]). Die stündliche Ausscheidung an Kohlensäure betrug:

	Alter	Körpergewicht	Ausgeschiedene Kohlensäure in Gramm	
	Jahr	Kilogramm	d. Haut u. Lunge	d. d. Haut
Knabe . . .	$9^3/_4$	20	20,34	0,48
Mädchen . .	10	23	19,16	0,12
Jüngling . .	16	57	34,28	0,18
Jungfrau . .	17	56	25,34	—
Mann . . .	28	82	36,62	0,37
Frau	35	66	33,53	0,27

Die Kohlensäureausscheidung wird gesteigert durch Bewegung, Nahrungsaufnahme u. dgl. Die ausgeathmete Luft bestand nach Brunner und Valentin im Durchschnitt von 34 Analysen aus:

Kohlensäure	4,4
Sauerstoff	16,0
Stickstoff	79,6

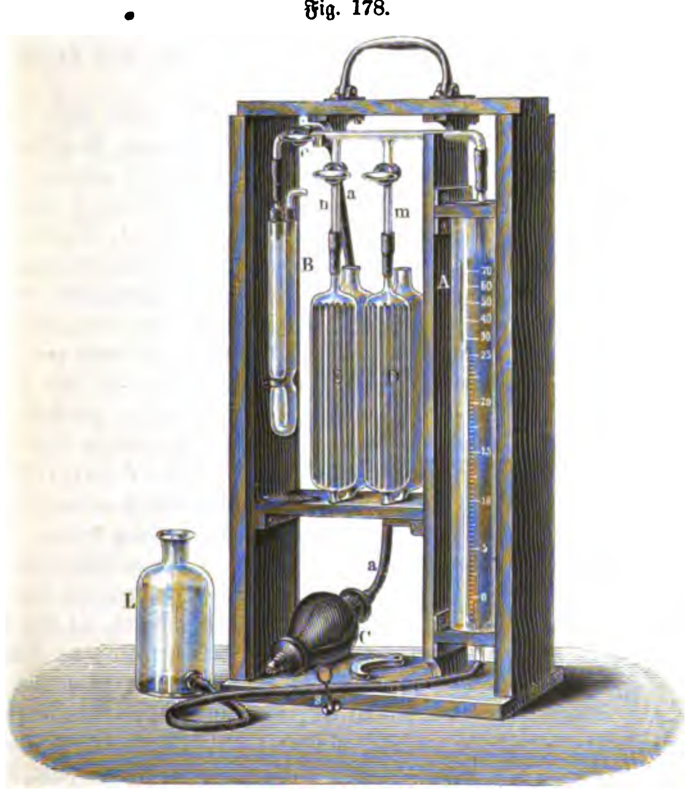
Für praktische Zwecke völlig hinreichend genau läßt sich die ausgeathmete Luft sehr bequem mit dem später noch näher beschriebenen Apparate des Verfassers untersuchen. Handelt es sich um eine Durchschnittsprobe, so athmet man zunächst in ein Gasometer oder Gummibeutel und entnimmt aus diesem die Probe. Für Augenblicksproben nimmt man das kleine Gummigebläse *C* (Fig. 178) ab, nimmt das Schlauchende *a* in den Mund, stellt den Dreiweghahn *c* so, daß er die Bürette *A* mit dem Schlauch verbindet, öffnet den Quetschhahn auf dem Schlauche *s* so, daß sich die Bürette mit der ausgeathmeten Luft füllt, die überschüssige Luft aber durch das Sperrwasser entweichen kann. Man stellt nun das Wasser in der Bürette auf 0 ein, schließt den Dreiweghahn und führt die Analyse in gewöhnlicher Weise

[1]) Zeitschr. f. Biolog. 7, 400; 9, 252; 13, 383; 15, 98. Landwirthsch. Versuchsstation 25, 375; Viertelj. f. öffentl. Gesundh. 1872, 290; 1875, 208; 1876, 393, 691; 1878, 343. Fleck: Jahresbericht d. chem. Centralst. 1874. — [2]) Vergl. F. Fischer: Die menschlichen Abfallstoffe, ihre Beseitigung und praktische Verwerthung (Braunschweig 1882), S. 22. — [3]) Gorup-Besanez, Physiologische Chemie, 3. Aufl., S. 788.

aus. Derselbe Apparat wird bereits benutzt zur Untersuchung der Luft in Bergwerken [1]).

Besonders oft ist die Luft in den Schulzimmern untersucht worden. So fand Schulze [2]) in Nordhausen 14,4 bis 35,6 Vol., Schottky [3]) in den Schulen von Breslau meist 20 bis 30 Thle. Kohlensäure; wurden aber bei Ofenheizung Thüren und Fenster geschlossen gehalten, so stieg der Kohlensäuregehalt bis 51,5 Thle. O. Krause [4]) fand in der Realschule zu Annaberg 7,2 bis 33,2 Vol., in der dortigen Bürgerschule 28,2 bis 86 Vol., in der Bürgerschule zu Buchholz 23 bis

Fig. 178.



87 Vol., im Seminar Annaberg 20,3 bis 59,6 Vol., desgl. Zschopau 12,2 bis 46,6 Vol. Kohlensäure. Der Verf. fand in der höheren Bürgerschule in Hannover 20,8 bis 57,7 Vol., in einem Hörsale des alten Polytechnikums 49,5 Vol. Hesse [5]) fand in Schulzimmern sogar bis 117 Vol. Kohlensäure (also 1,17 Proc.), dagegen in Gefängnißzellen nur 8 bis 27 Vol.

---

[1]) Winkler, Untersuchung der Industriegase, S. 370. — [2]) Arch. Pharm. 209, 412. — [3]) Zeitschr. f. Biolog. 1879, 549. — [4]) 31. Bericht der Realschule zu Annaberg 1874. — [5]) Viertelj. f. öffentl. Gesundh. 1878, 265, 728.

R. Nichols hat nach einem gef. eingesendeten Bericht vom 23. März 1880 in verschiedenen Schulen Bostons 9,4 bis 23,9 Thle. Kohlensäure (auf 10 000) gefunden. In den Schulen von Michigan wurden 7,3 bis 37,5 und in New-York 9,7 bis 35,7 Thle. Kohlensäure nachgewiesen, von Lupton [1]) in der Luft der öffentlichen Schulen von Nashville, Tennessee 9,1 bis 32,4 Thle. Kohlensäure, so daß in dieser Beziehung die deutschen Schulen nicht besser sind als die amerikanischen.

An sich ist ja diese Kohlensäuremenge unschädlich, sie dient aber als Maaßstab für die aus dem Boden oder durch Lunge, Haut u. s. w. gleichzeitig in die Atmosphäre dringenden organischen und organisirten Zersetzungsproducte. Nach Pettenkofer soll gute Zimmerluft dem entsprechend nicht mehr als 10 Vol. Kohlensäure (auf 10000) enthalten; bei 50 bis 70 Thln. wird sie bereits sehr drückend und ekelerregend.

Kohlenoxyd. Die Vergiftung durch Kohlendunst, welche schon im Alterthum bekannt war, sowie die in neuerer Zeit hinzugetretene Vergiftung durch Leuchtgas gewinnen ihr wissenschaftliches Interesse erst mit der näheren Kenntniß des i. J. 1799 von Priestley entdeckten Kohlenoxydgases, dessen Schädlichkeit für warmblütige Thiere durch die Experimente von Tourdes, Tardieu u. A. außer Zweifel gestellt wurde. Die ersten Versuche über den Kohlenoxydgehalt der Zimmerluft, welche durch eiserne Stubenöfen oder mittels sogenannter Luftheizung erwärmt ist, scheinen von Pettenkofer [2]) ausgeführt zu sein. Er bestimmte zunächst Kohlensäure und Wasserdampf der Luft, indem er sie durch ein Chlorcalciumrohr und einen Kaliapparat saugte; dann leitete er die Luft über glühendes Kupferoxyd und ließ die durch Verbrennung des Kohlenoxydes gebildete Kohlensäure durch Kalilauge absorbiren. Auf die von ihm gefundenen sehr geringen Mengen von Kohlenoxyd legte er aber kein Gewicht. Erst als Carret [3]) mit der Behauptung auftrat, er habe eine neue endemisch und epidemisch auftretende Krankheit beobachtet, deren Ursache man in der Kohlenoxydentwicklung eiserner Oefen zu suchen habe, wurde die allgemeine Aufmerksamkeit auf den Kohlenoxydgehalt der Zimmerluft gelenkt. Zwar gab Michaud [4]) in Uebereinstimmung sämmtlicher Aerzte von Chambery und Umgegend (Savoie) die Erklärung ab, die von Carret beobachtete Krankheit sei lediglich eine Typhusepidemie gewesen; die französische Akademie setzte aber eine Commission nieder zur Lösung der Frage, ob eiserne Oefen durch Abgabe von Kohlenoxyd an die Zimmerluft gesundheitsschädlich seien? Der von Morin [5]) Namens der Commission erstattete Bericht bejaht diese Frage in so fern, als nach den ausgeführten Versuchen eiserne Oefen, falls sie rothglühend werden, allerdings Kohlenoxyd an die Zimmerluft abgeben und dadurch schädlich wirken sollen.

Hoppe-Seyler [6]) machte die Beobachtung, daß das mit Kohlenoxyd behandelte Blut, im Sonnenspectrum untersucht, bei passender Verdünnung fast genau dieselben Absorptionsstreifen zeigt als sauerstoffhaltiges Blut, d. h. die des

---

[1]) Chem. News 40, 180. — [2]) Dingl. 1851, 119, 40. — [3]) Compt. rend. (1865), 60, 793; 61, 417. — [4]) Compt. rend. 60, 966; 66, 271. — [5]) Dingl. 1869, 193, 201. — [6]) Zeitschr. f. anal. Chem. 1864, 439; Gorup-Besanez: Zoochemische Analyse (1871), 107, *345.

Oxyhämoglobins; nur ist der bei 52 anfangende Absorptionsstreifen etwas nach *E* hin verschoben. Behandelt man solches Blut aber mit reducirenden Stoffen, z. B. weinsaures Zinnoxydul, Schwefelammonium, weinsaures Eisenoxydulammoniak, so verschwinden diese Absorptionsstreifen nicht; ebenso wenig zeigt sich der Absorptionsstreifen (53 bis 55) des reducirten Hämoglobins, während die Streifen des normalen Blutes bei dieser Behandlung verschwinden und dem letztgenannten Streifen des reducirten Hämoglobins Platz machen. Versetzt man ferner Kohlenoxyd haltiges Blut, welches sich schon durch seine violettrothe Farbe auszeichnet, mit mäßig concentrirter Natronlauge im Ueberschuß, so nimmt dasselbe eine hell zinnoberrothe Färbung an, während gewöhnliches Blut bei gleicher Behandlung sogleich eine schwarzbraune, schmierige Masse giebt.

Dieses Verhalten des Blutes ist nun mehrfach zur Nachweisung des Kohlenoxydes verwendet. So hat die französische Commission[1]) den Kohlenoxydgehalt des Blutes von Kaninchen bestimmt, welche der zu untersuchenden Luft ausgesetzt waren; wie sie dies ausgeführt hat, ist leider nirgend angegeben. H. W. Vogel[2]) hat diese Blutprobe wesentlich verbessert. Er schüttelt in einer Flasche etwa 100 ccm der zu untersuchenden Luft mit 2 ccm stark verdünntem Blut und bringt dieses dann vor den Spalt eines Spectralapparates. Enthielt die Luft auch nur 25 Thle. Kohlenoxyd (auf 10000 Thle. Luft) oder 0,25 Proc., so erhält man die Kohlenoxydstreifen. Enthält das zu prüfende Gas keinen Sauerstoff, so lassen sich auf diese Weise noch 10 Thle. Kohlenoxyd auffinden. Hempel[3]) saugt etwa 10 Liter der zu untersuchenden Luft durch wenige Cubikcentimeter stark verdünntes Blut hindurch und untersucht letzteres dann spectralanalytisch, oder er setzt eine Maus der zu untersuchenden Luft aus und untersucht deren Blut. Auf ersterem Wege lassen sich noch 5, auf letzterem noch 3 Zehntausendstel Kohlenoxyd nachweisen. Wolff[4]) saugt 10 Liter der zu untersuchenden Luft durch einen kleinen mit Glaspulver und verdünntem Blut gefüllten Absorptionsapparat und prüft dann spectroskopisch. Weyl und Anrep[5]) empfehlen das Blut in ganz gefüllter Flasche bis zur Untersuchung abzuschließen und im Dunkeln bei niederer Temperatur aufzubewahren. Tritt dann auf Zusatz von Schwefelammonium oder der von Stokes angegebenen Lösung von weinsaurem Eisenoxydulammoniak keine Reduction zu Hämoglobin auf, so liegt Kohlenoxydhämoglobin vor. Tritt auf Zusatz weniger Tropfen einer 0,025 procentigen Chamäleonlösung im passend verdünnten Blute innerhalb 20 Minuten kein Methämoglobin auf, bleibt das Blut roth und klar, so ist Kohlenoxydhämoglobin vorhanden. Die gleiche Menge Chamäleon muß in einer gleich concentrirten, mit Luft geschüttelten Blutlösung von Mensch, Rind oder Kaninchen eine gelbe Färbung hervorbringen, Methämoglobin geben und eine Trübung verursachen. Statt der Chamäleonlösung kann mit gleich sicherem Erfolge eine einprocentige Lösung von Brenzcatechin oder Hydrochinon benutzt werden. Bei Anwendung dieser Phenole muß die Blutlösung 15 Minuten bei 40° digerirt werden.

[1]) Dingl. 1869; 193, 203. — [2]) Bericht deutsch. chem. Ges. 1878, 235. — [3]) Das. 1869, 399. — [4]) Dingl. 1880, 237, *456; Wagner's Jahresb. 1880, *351. — [5]) Bericht deutsch. chem. Ges. 1880, 1294.

S. v. Fodor[1]) konnte durch spectralanalytische Untersuchung des Blutes von Thieren, welche die verunreinigte Luft eingeathmet hatten, keine geringeren Mengen als 10 Thle. Kohlenoxyd nachweisen. Empfindlicher als das Spectroskop ist die Natronprobe von Hoppe-Seyler (s. o.) und die Farbenprüfung des mit Schwefelammonium geschüttelten Blutes mit freiem Auge, da sich dann durch Behandeln des Blutes mit 10 Liter Luft noch 5 Thle. Kohlenoxyd nachweisen ließen. Schüttelt man aber 10 ccm Blut 5 bis 7mal nach einander mit je 6 Liter Luft, welche nur 0,5 Thle. Kohlenoxyd enthält, erwärmt das Blut auf 90 bis 95° unter Hindurchleiten von atmosphärischer Luft, welche dann durch einen Kugelapparat mit einer neutralen Lösung von 1 Thl. Chlorpalladium in 500 Thln. Wasser geht, so wird Palladium ausgeschieden. Auf diese Weise ließ sich noch Kohlenoxyd in dem verdünnten Blute von Kaninchen nachweisen, welche einige Zeit eine Luft eingeathmet hatten mit nur 0,4 Kohlenoxyd in 10 000, so daß also das Kohlenoxyd selbst noch bei dieser Verdünnung von dem Blute lebender Thiere aufgenommen wird.

Böttger[2]) hatte beobachtet, daß ein mit Palladiumchlorürlösung getränkter Papierstreifen durch Kohlenoxyd schwarz wird. Gottschalk[3]) saugt nun die auf Kohlenoxyd zu prüfende Luft durch eine Lösung von Natriumpalladiumchlorür. Sind auch nur 2,2 Thle. Kohlenoxyd zugegen, so tritt eine Ausscheidung von sammtschwarzem, metallischem Palladium ein. Für den qualitativen Nachweis von Kohlenoxyd ist dieses Verfahren als sehr einfach zu empfehlen, da man beim Durchsaugen von 5 Liter einer Luft mit 2,5 Thln. Kohlenoxyd auf 10 000 durch 1 bis 2 ccm Palladiumchlorürlösung bereits einen dunklen Streifen an den Glaswandungen über der Flüssigkeit erhält. Gottschalk meint, diese Reaction gehe nach folgender Formel vor sich:

$CO + PdNa_2Cl_4 = 2.NaCl + Pd + COCl_2$ und $COCl_2 + H_2O = CO_2 + 2\,HCl$,

so daß man das Kohlenoxyd durch Bestimmen der gebildeten Kohlensäure mittels Barytwasser auch quantitativ feststellen könne. Der Verf. konnte jedoch hiermit keine brauchbaren Resultate erhalten[4]).

Nach Fodor wird zur qualitativen Nachweisung des Kohlenoxydes feines Filtrirpapier in eine neutrale Lösung von 0,2 g Palladiumchlorür in 100 ccm Wasser getaucht, getrocknet und dann in Streifen geschnitten. Nun füllt man eine 10 Liter fassende Flasche mit der zu untersuchenden Luft, bringt einige Cubikcentimeter reines Wasser und an einem Platindraht das Reagenzpapier hinein und verkorkt die Flasche. Bei 5 Theilen Kohlenoxyd zeigt sich auf dem Papier schon nach einigen Minuten ein schwarzes glänzendes Häutchen, bei 1 Theil nach 2 bis 4 Stunden, bei 0,5 Theilen nach 12 bis 24 Stunden. Man kann auch Blut wiederholt mit der zu untersuchenden Luft schütteln und, wie vorhin besprochen, das aufgenommene Kohlenoxyd in Palladiumlösung leiten. Zur quantitativen Bestimmung wird eine größere Menge Luft durch mehrere mit neutraler Palladiumchlorürlösung gefüllte Kugelapparate gesaugt. Der nach der Zersetzungsgleichung

---

[1]) Viertelj. f. öff. Ges. 1880, 377; Wagner's Jahresb. 1880, *353. — [2]) Journ. pr. Chem. 76, 233; Dingl. 1859, 152, 76. — [3]) Gottschalk: Die Nachweisbarkeit des Kohlenoxydes (Leipzig 1877), S. 2. — [4]) Dingl. 1880, 235, 441.

$PdCl_2 + CO + H_2O = Pd + 2HCl + CO_2$ gebildete Niederschlag wird auf einem Filter gesammelt, dann sammt dem in den Gläsern gebliebenen in Königswasser gelöst, getrocknet und in schwacher Salzsäure gelöst. 53,24 Palladium entsprechen dann 14 Kohlenoxyd. Man löst nun 1,486 g reines Jodkalium zu 1 Liter, erwärmt die verdünnte saure Palladiumlösung im Wasserbade und läßt so lange Jodkalium zufließen, als sich noch schwarzes Palladiumjodid abscheidet. Um diese Grenze zu finden, filtrirt man einige Cubikcentimeter ab und fügt 1 Tropfen Jodkaliumlösung hinzu, welche keine braune Trübung mehr hervorbringen darf. 1 ccm Jodkaliumlösung entspricht dann 0,1 ccm Kohlenoxyd. Nach diesem Verfahren hat Fodor in 3 Leichen, welche bereits über zwei Monate beerdigt, dann aber wieder ausgehoben waren, Kohlenoxyd nachgewiesen, und zwar enthielten 100 ccm Blut einer jungen Frau 3,51, ihres Mannes 4,04 und seiner Mutter 4,23 ccm Kohlenoxyd; letztere scheint also der giftigen Wirkung am längsten widerstanden zu haben. Als dieses Blut an der Luft eingetrocknet war, konnte in der wässerigen Lösung mittels des Spectroskops kein Kohlenoxyd mehr nachgewiesen werden; mittels Palladium wurden aber für 100 ccm Blut noch 0,59 ccm Kohlenoxyd gefunden.

Da auch Aethylen, Methylen, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium und ähnliche Gase, welche in der Luft vorkommen können, zersetzend auf die Palladiumlösung einwirken, so erfordert diese Bestimmung große Vorsicht. Gruber[1]) macht dagegen folgenden Vorschlag. Man schüttelt 20 Liter Luft mit 10 ccm Blut und prüft das Blut nach Fodor auf Kohlenoxyd. Das Spülwasser davon wird im Spectralapparate untersucht. Erhält man die Reaction nach Fodor, aber die im Spectralapparate nicht, so weiß man, daß der Gehalt weniger als 0,1 Proc. und mehr als 0,005 Proc. beträgt. Ferner nimmt man 100 ccm Luft und prüft nach Vogel. Gab die Untersuchung der großen Luftprobe die Absorptionsstreifen, die zweite aber nicht, dann liegt der Kohlenoxydgehalt zwischen 0,1 und 0,25 Proc.

Deville und Troost[2]) bestimmen ähnlich wie Pettenkofer das Kohlenoxyd und die Wasserstoffverbindungen durch Verbrennen mittels Kupferoxyd und folgender Absorption des gebildeten Wassers mittels Schwefelsäure, der Kohlensäure mit Kali. Dasselbe Verfahren wurde auch theilweise von der französischen Commission angewendet. Auch Vollert[3]) verbrennt mit glühendem Kupferoxyd, berechnet aber die gebildete Kohlensäure einfach auf Kohlenoxyd. Erismann[4]) hat aber ebenso wie Troost in der Zimmerluft Kohlenwasserstoffe nachgewiesen, so daß hierauf jedenfalls Rücksicht zu nehmen ist. Verf.[5]) ließ die betreffende Luft zunächst durch Kalilauge gehen, dann durch zwei Röhren mit Glasperlen und concentrirter Schwefelsäure, um die Feuchtigkeit völlig zurückzuhalten; ein eingeschobener Asbestpfropf hielt auch die letzten mitgeführten Staubtheile zurück. Nun folgte ein Rohr mit gut ausgeglühtem Kupferoxyd, welches in einem einfachen Verbrennungsofen erhitzt wurde. Das gebildete Wasser wurde in einem U-Rohr mit concentrirter Schwefelsäure, die Kohlensäure mittels Barytwasser

---

[1]) Dingl. 1881, 241, 220. — [2]) Dingl. 1868, 188, 137. — [3]) Vollert, Ueber Luftwechsel, 1878, 22. — [4]) Zeitschr. f. Biolog. (1876) 12, 328. — [5]) Dingl. 1880, 235, 440.

bestimmt, indem das gefällte kohlensaure Baryum in Salzsäure gelöst und dann als Sulfat gewogen wurde. Da nun die ersten Schwefelsäure-Rohre die etwa vorhandenen schweren Kohlenwasserstoffe und den Staub zurückhalten, so darf man das im Verbrennungsrohre gebildete Wasser wohl auf Grubengas (CH_4) berechnen, den Rest der gebildeten Kohlensäure aber auf Kohlenoxyd. War freier Wasserstoff zugegen, so fällt die so bestimmte Kohlenoxydmenge etwas zu gering aus; ich habe allerdings bei der Untersuchung einer mangelhaften Luftheizung neben 3,2 Thln. Kohlenoxyd nur zweifelhafte Spuren von Wasserstoffverbindungen gefunden. Das Verfahren ist zwar aus den angegebenen Gründen auch nicht ganz zuverlässig, in Verbindung mit der Fodor'schen Blutprobe aber immerhin brauchbar. Viel weniger genau ist die von Kayser angewendete Bestimmung des Kohlenoxyds durch Oxydation mittels Chromsäure.

Bezüglich der Mengenverhältnisse, in denen das Kohlenoxyd gesundheitsschädlich wirkt, gehen die Ansichten noch aus einander. Während man früher [1]) erst einen Kohlenoxydgehalt der atmosphärischen Luft von 1 bis 5 Proc. für gefährlich hielt, tödtet nach Letheby [2]) eine Luft mit 0,5 Proc. (also 50 Thle.) kleine Vögel bereits nach 3 Minuten. Nach den Versuchen von Biefel und Poleck [3]) enthielten die tödtlich wirkenden Gasgemische 0,19 Proc. und mehr Kohlenoxyd. 4 Theile Kohlenoxyd (auf 10 000 Luft) genügten aber schon, Kaninchen matt zu machen; Vogel meint dagegen, daß, wenn eine wenig Kohlenoxyd enthaltende Zimmerluft nicht mehr im Stande sei, auf das stark verdünnte Blut, welches bei seiner Kohlenoxydprobe (S. 209) zur Anwendung kommt, einzuwirken, diese Luft auch das viel concentrirtere Blut der menschlichen Lungen nicht vergiften könne. Die große Menge Sauerstoff bilde hier das natürliche Gegengewicht und hält er daher die Gegenwart kleinerer Mengen von Kohlenoxyd in der Luft als 25 Theile entschieden für nicht schädlich. Dieser Ansicht schließt sich Wolfhügel [4]) an. Allerdings hat Liman [5]) gezeigt, daß Kohlenoxyd haltiges Blut durch längeres Schütteln mit Sauerstoff das Kohlenoxyd wieder verliert und nun die Absorptionsstreifen des normalen Blutes zeigt. N. Grehant [6]) hat aber gefunden, daß selbst sehr geringe Kohlenoxydmengen einen Theil der rothen Blutkörperchen unfähig machen, Sauerstoff aus der Atmosphäre aufzunehmen. Zu diesem Zwecke wurde die Sauerstoff-Aufnahmefähigkeit einer Blutprobe eines Hundes bestimmt, der Hund dann 30 Minuten einem Gemisch von atmosphärischer Luft mit Kohlenoxyd ausgesetzt und nun dessen Blut abermals untersucht. Bei 10 Thln. Kohlenoxyd (0,1 Proc.) nahmen 100 ccm Blut 25,5 ccm, nach der Einwirkung des Kohlenoxydgemisches auf das Thier aber nur 15,4 ccm Sauerstoff, also 10,1 ccm weniger auf, und bei 2,5 Thln. (1 : 4000) Kohlenoxyd 21,1 und 19,9 ccm, demnach noch ein Unterschied von 1,2 ccm Sauerstoff, so daß also selbst bei dieser starken Verdünnung, welche mittelst des Spectralapparates nicht mehr nachgewiesen werden kann, noch eine entschieden nachtheilige Einwirkung stattfindet.

---

[1]) Husemann: Toxikologie, 1862, S. 645. Hirt: Gasinhalationskrankheiten, 1873, S. 16. — [2]) Lancet (1862), 1, 9. — [3]) Dingl. 1878, **230**, 92; 1880, **240**, 201. — [4]) Zeitschr. f. Biolog. (1878), **14**, 506. — [5]) Centralbl. f. medicin. Wiss. 1876, 353. — [6]) Compt. rend. **87**, 193; Ann. d'hyg. publ. 1879, 114.

Fodor hat durch eine größere Anzahl von Versuchen mit Kaninchen gefunden, daß bei einem Gehalt von 40 Thln. Kohlenoxyd (auf 10 000) Thiere nach 4 Stunden betäubt werden, bei 31 Thln. dies nach 24 Stunden geschieht und daß selbst 13 Thle. noch schwere Erscheinungen hervorrufen, wenn die so verunreinigte Luft mehrere Tage auf den Organismus einwirkt. Nun ist aber der Mensch noch empfindlicher gegen Kohlenoxyd als die Thiere, wie bereits Friedberg in seiner Abhandlung „Vergiftung durch Kohlendunst" (Berlin 1866) nachgewiesen hat und wie daraus folgt, daß sich Thiere leicht von der Betäubung erholen, Menschen aber, sobald sie die Besinnung verloren haben, selten dem Leben erhalten werden können. Die Schädlichkeit des Kohlenoxydes wird aber unzweifelhaft nicht erst dann beginnen, wenn es bereits Besinnungslosigkeit, Erstickungsanfälle oder gar den Tod hervorruft. Weitere Versuche mit Kaninchen zeigten nun, daß selbst bei 5 Thln. Kohlenoxyd das Athmen erschwert wurde; die Thiere taumelten und nahmen kein Futter zu sich und waren selbst bei 2,3 Theilen noch schläfrig, so daß also selbst noch bei dieser Verdünnung das Kohlenoxyd die Gesundheit schädigt. Da es nun mindestens sehr wahrscheinlich ist, daß jedes Blutkörperchen, dessen Hämoglobin sich mit Kohlenoxyd verbunden, seine Lebensthätigkeit für immer eingebüßt hat, so ist das Kohlenoxyd für die Gesundheit nicht mehr gleichgültig, sobald es die Luft in einer solchen Menge enthält, daß es aus ihr durch das Blut des lebenden Thieres aufgenommen wird. Dieses geschieht aber, wie bereits erwähnt, selbst noch bei 0,4 Thln. auf 10 000, so daß selbst diese geringe Menge nicht gleichgültig für das Wohlbefinden sein wird.

M. Gruber[1]) findet dagegen neuerdings, daß Kaninchen zwar schon bei einem Gehalte der Athemluft von 6 bis 7 Thln. (0,06 bis 0,07 Proc.) ihr Verhalten änderten, daß aber trotz fortdauernder Zufuhr neuer Dosen des Giftes bei gleichbleibender Concentration eine Steigerung der Giftwirkung doch nur in sehr beschränktem Maße stattfindet. In kurzer Zeit, längstens in einer Stunde, sind die Symptome zu einer gewissen Höhe entwickelt, um dann auf dieser tage- oder stundenlang annähernd gleich zu bleiben, so daß innerhalb gewisser Grenzen jeder Concentration ein bestimmter Grad der Vergiftung entspricht. Daß die Höhe der Vergiftung von der Concentration und nicht von der Dauer der Einwirkung des Gases abhängt, folgert er aus Versuchen, bei denen, nach Ausbildung der Symptome, von einem höheren Kohlenoxydgehalte auf einen niedrigeren herabgegangen wurde. Trotz continuirlicher Zufuhr des Giftes nahmen die Vergiftungserscheinungen doch bedeutend ab und die Thiere erholten sich bis zu einem gewissen Grade oder auch völlig, wenn der Kohlenoxydgehalt niedrig genug war. Gruber athmete ferner an zwei auf einander folgenden Tagen je 3 Stunden lang einmal Luft mit 0,021 Proc., das andere Mal Luft mit 0,024 Proc. Kohlenoxyd ein. Obwohl in den Luftproben das Gas deutlich nachweisbar war, also jedenfalls auch in seinem Blute nach Fodor's Methode nachweisbar gewesen wäre, verspürte er doch nicht die geringste schädliche Wirkung. War auch die Dauer der Versuche kurz, so hält sie Gruber doch für die Unschädlichkeit des so verdünnten Gases beweisend. Nach Maßgabe der Thierversuche hätten sich in

[1]) Dingl. 1881, 241, 220.

dieser Zeit bereits Symptome einstellen müssen; ja, wenn im Körper wirklich eine beträchtliche Anhäufung des Kohlenoxydes stattfände, dann hätte man eine arge Vergiftung erwarten müssen, wenn man bedenkt, daß die Blutmasse eines Erwachsenen etwa 1 Liter Sauerstoff bez. Kohlenoxyd zu binden vermag und in drei Versuchungsstunden mehr als 300 ccm Kohlenoxyd in die Lungen gelangten. Die Grenze der Schädlichkeit des Kohlenoxydgases liegt also wahrscheinlich bei einer Verdünnung von 0,05, sicher aber von 0,02 Proc., wie Gruber annimmt. Er erklärt dieses Resultat damit, daß das Kohlenoxydhämoglobin sich bei Körpertemperatur in beträchtlichen Massen dissociirt. Es wäre ohne Annahme der Abhängigkeit der Bildung desselben vom Partialdrucke des Kohlenoxydes auch unverständlich, warum die Vogel'sche Probe selbst bei Anwendung größerer Luftmengen im Stiche läßt. Das Blut nimmt nur einen kleinen Theil des vorhandenen Kohlenoxydes auf. Werden z. B. in eine 20-Liter-Flasche 2 ccm Kohlenoxyd gebracht, 10 ccm Blut zugefügt, geschüttelt, nach einiger Zeit das Blut entleert, die Reste mit Wasser ausgespült und wurde dieses Verfahren mit neuen Blutproben 3 und 4 mal wiederholt, so ist das Resultat stets das gleiche, ob jede Blutprobe 20 Minuten oder 3 Stunden mit der Luft in Berührung blieb. Alle Blutproben geben in Fodor's Apparate die Kohlenoxydreaction und, wenigstens die 3 oder 4 ersten, annähernd in gleicher Stärke. Auch die insbesondere von Pokrowsky angegebene, von Dybkowsky [1]) bestätigte Oxydation findet zweifellos statt. Sie erfolgt langsam schon bei gewöhnlicher Temperatur. Je mehr Oxyhämoglobin neben Kohlenoxydhämoglobin in einer Blutprobe enthalten ist, um so rascher wird die Oxydation verlaufen. Bringt man von den wie oben bereiteten 4 oder 5 Blutproben die vierte oder fünfte sogleich in Fodor's Apparat, während man die übrigen wohlverkorkt bei gewöhnlicher Temperatur stehen läßt, so ist in letzteren schon nach 6 Stunden kein Kohlenoxyd mehr nachweisbar, während die sogleich untersuchte starke Reduction bewirkte. Bei Körpertemperatur geht die Oxydation viel rascher vor sich. Im Organismus finden also jedenfalls beide Processe statt, das Ueberwiegen der Dissociation ist aber aus dem oben angegebenen Grunde wahrscheinlicher. —

Berücksichtigt man, daß die Empfindlichkeit verschiedener Personen gegen Kohlenoxyd sehr ungleich ist, so daß zuweilen von zwei Leuten, welche derselben Kohlenoxyd haltigen Atmosphäre ausgesetzt waren, nur der Eine starb, während der Andere mit leichten Kopfschmerzen davon kam [2]) — eine Erscheinung, die nach Hirt vielleicht in einer eigenthümlichen Beschaffenheit des Blutes begründet ist —, so wird man die Schädlichkeitsgrenze auf 2 bis 3 Theile setzen dürfen, wenn auch zugegeben werden soll, daß viele Leute, namentlich Raucher, erheblich größere Kohlenoxydmengen ohne nachweislichen Schaden ertragen. Da ferner die Bildung von Kohlenoxyd in der Zimmerluft vermeidbar ist, so darf man von einer dem Heizapparat entströmenden Luft wohl billig verlangen, daß 5 Liter derselben durch eine Lösung von Palladiumchlorür gesaugt, keine Fällung mehr bewirkt, entsprechend einem Kohlenoxydgehalt von etwa 2,5 Thln. auf 10 000 Thle. Luft.

---

[1]) Hoppe-Seyler: Medicinisch-chemische Untersuchungen 1866, 116. — [2]) Vgl. Dingl. 1881, **242**, 71.

Als Ursache der Kohlenoxydbildung durch eiserne Zimmeröfen oder sogenannte Luftheizungsanlagen wurde früher wohl die Verbrennung des im Gußeisen enthaltenen Kohlenstoffes angeführt — eine Angabe, welche bereits von Regnault und Chevreul[1]) widerlegt wurde. Nach ihrer Ansicht kann Kohlenoxyd nur durch Verkohlung des auf die eisernen Heizflächen abgesetzten organischen Staubes in die Zimmerluft gelangen. — Die hierdurch gebildeten Kohlenoxydmengen können offenbar nur bei großer Fahrlässigkeit wahrnehmbar werden. Die hierbei gleichzeitig auftretenden empyreumatischen Stoffe machen sich z. B. bemerkbar, wenn ein Ofen nach längerer Zeit zum ersten Male wieder geheizt wird, ohne vorher abgestäubt zu sein. Deville und Troost[2]) erklären das Vorkommen von Kohlenoxyd und Wasserstoff in der Heizluft durch die Diffusion dieser Gase durch glühende Eisenwände, welche auch von Graham[3]) und neuerdings von Wolfhügel[4]) nachgewiesen wurde. Auch die französische Commission bestätigt diese Angabe; sie führt aber aus, daß dieser Fehler durch Auskleiden der eisernen Oefen mit feuerfesten Steinen vermieden würde. Zweifelhaft ist dagegen die Angabe von Cailletet[5]), daß Gußeisen auch bei gewöhnlicher Temperatur für Gase durchlässig sei. Diese Luftverunreinigung mit Kohlenoxyd läßt sich somit vermeiden, wenn man durch Aussetzen der Heizapparate mit feuerfesten Steinen das Glühendwerden der Eisenwände verhütet, sowie auch, wenn man durch passende Behandlung des Feuers die Bildung von Kohlenoxyd im Ofen selbst möglichst verhindert. Die entgegenstehenden Angaben von Fodor hat Verf. bereits früher widerlegt[6]).

Kommt die Verunreinigung der Luft mit Kohlenoxyd von einer Leuchtgasausströmung her, so ist zu berücksichtigen, daß, obgleich bei directer Ausströmung des Leuchtgases dessen charakteristischer Geruch schon erkennbar ist, wenn der Kohlenoxydgehalt erst 0,003 Proc. beträgt, daß dieser Geruch dagegen verschwindet, wenn das Gas durch eine Erdschicht nach bewohnten Räumen hin angesaugt wird, wodurch in München und Breslau[7]) wiederholt Vergiftungen mit tödtlichem Ausgange veranlaßt wurden. Biefel und Poleck[8]) haben Leuchtgas vor und nach seinem Durchgange durch eine Erdschicht untersucht:

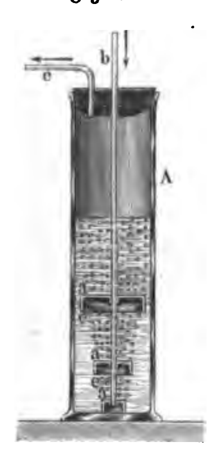
	Leuchtgas	Durch die Erdschicht geströmtes Gas
Kohlensäure	3,06	2,23
Schwere Kohlenwasserstoffe	4,66	0,69
Sumpfgas	31,24	17,76
Wasserstoff	49,44	47,13
Kohlenoxyd	10,52	13,93
Sauerstoff	0,00	6,55
Stickstoff	1,08	11,71
	100,00	100,00.

Wenn man die Bestandtheile des durch die Erdschicht gedrungenen mit der Zusammensetzung des unveränderten Gases vergleicht, so fällt zunächst in die Augen,

[1]) Dingl. 1865, 177, 408. — [2]) Das. 1864, 171, 201; 1868, 188, 136. — [3]) Pogg. Ann. (1868), 134, 326. — [4]) Zeitschr. f. Biolog. 1878, 526. — [5]) Dingl. 1865, 176, 305; 1868, 189, 125. — [6]) Dingl. 1879, 233, 133; 1880, 235, 443; 237, 457. — [7]) Dingl. 1881, 240, 203. — [8]) Zeitschr. f. Biolog. 1880, 279; Wagner's Jahresber. 1880, 908.

daß etwa 75 Proc. der schweren Kohlenwasserstoffe und mit ihnen die im Gase befindlichen Dämpfe der riechenden Theerbestandtheile condensirt worden sind; das Sumpfgas hat sich um etwa 50 Proc. vermindert, während der Wasserstoff nahezu derselbe geblieben ist und das Kohlenoxyd sich scheinbar sogar um 25 Proc. vermehrt hat. Ebenso entspricht der von der atmosphärischen Luft herrührende Sauerstoff und Stickstoff nicht dem Verhältniß ihrer Mischung. Das Verhalten der Gase gegen poröse Stoffe von so wechselnder Zusammensetzung wie der Erdboden, ist noch viel zu wenig gekannt, um eine genügende Erklärung für die hier vorliegenden Absorptions- und Diffusionsverhältnisse finden zu können. Wenn weitere Analysen die geringe Absorptionsfähigkeit für Kohlenoxyd bestätigen sollten, so würde darin die größte Gefahr derartiger Gasausströmungen um so mehr zu suchen sein, als sie sich zunächst kaum durch den Geruch verrathen. — Vor Anwendung der Ansell'schen Apparate[1]) zur Erkennung von Gasausströmungen kann nur gewarnt werden[2]), da er hierzu völlig untauglich ist.

Fig. 179.



Zum Nachweis der sonstigen Verunreinigungen der atmosphärischen Luft kann man oft vortheilhaft das auf reinen Flächen gesammelte Regenwasser[3]) benutzen. Anderenfalls saugt man eine größere Luftmenge durch Wasser, was passend mittelst der kleinen in Fig. 179 im Schnitt gezeichneten Vorrichtung geschieht. Die durch einen, zwischen der Wasserstrahlpumpe und Rohr *c* eingeschalteten Gasmesser gemessene Luft tritt durch das Rohr *b* in den hohen, zu etwa $^2/_3$ mit Wasser gefüllten Cylinder *A* und wird hier durch die mit breitem Rande *e* versehenen Siebplatten *a* wiederholt fein vertheilt.

Schwefelwasserstoff wird in dieser Lösung durch den Geruch, durch einige Tropfen Bleilösung oder auch in der Luft selbst durch Bleipapier erkannt. Zur quantitativen volumetrischen Bestimmung mittels einer Jodlösung ($J_2 + H_2S = 2HJ + S$) oder gewichtsanalytisch mit einer Lösung von Arsenigsäure (als As_2S_3) wird wohl kaum jemals eine genügende Menge dieses Gases vorhanden sein, obgleich es bei der Fäulniß von Abortstoffen[4]), bei der Zersetzung von Sodarückständen[5]) u. dergl. oft massenhaft entwickelt wird.

Schwefligsäure erkennt man theils am Geruch, wo das Gas in der Nähe von Röstöfen u. dergl.[6]) rein ist, theils durch seine bleichende Wirkung auf Pflanzenfarben. Quantitativ wird sie durch eine Jodlösung bestimmt: ($J_2 + SO_2 + H_2O = H_2SO_4 + 2HJ$.) Auch die Schwefligsäure oxydirt sich rasch zu

---

[1]) Dingl. 1867, **183**, *459. — [2]) Das. 1877, **223**, 547. — [3]) Ferd. Fischer, Chemische Technologie des Wassers; 75 bis 86. — [4]) Ferd. Fischer: Die menschlichen Abfallstoffe (Braunschweig 1882) S. 44. — [5]) Ferd. Fischer: Verwerthung der städtischen und Industrieabfallstoffe (Leipzig 1875); 129, 134. — [6]) Dingl. 1880, **235**, *219; **238**, 837; **241**, 124; Wagner's Jahresber. 1880, 247.

Schwefelsäure, so daß sie nur selten als solche nachzuweisen ist. In der Luft und im Regenwasser Hannovers hat dem Verfasser dieses z. B. nicht gelingen wollen, obgleich hier jährlich etwa 140 000 Tonnen Steinkohlen mit rund $1^1/_2$ Millionen Kilogr. Schwefel verbrannt werden und außerdem drei Ultramarinfabriken und zwei Schwefelsäurefabriken bedeutende Mengen dieses Gases in die Luft schicken. Uebrigens wird ein erheblicher Theil desselben bereits im Ultramarinofen [1]) und in den gewöhnlichen Feuerungsanlagen [2]) in Schwefelsäure übergeführt, wie Verfasser nachgewiesen hat.

Schwefelsäure wird mittels Chlorbaryum als Baryumsulfat gefällt und bestimmt, **Salzsäure**, bez. Chloride mit Silbernitrat.

Salpetersäure kann mit Brucin erkannt, mit Indigo bestimmt werden. Salpetrigsäure wird mit Jodkaliumstärkekleister erkannt, und mit der Salpetersäure zusammen als Stickoxyd bestimmt [3]).

Ammoniak. Der Nachweis desselben gelingt leicht in Regenwasser und in dem genannten Waschwasser, welches dasselbe wohl überall, wo Steinkohlen gebrannt werden, als Sulfat enthält. Zur quantitativen Bestimmung saugt Fodor [4]) 4 bis 6 cbm Luft zunächst durch einen Pfropfen Glaswolle, um den atmosphärischen Staub zurückzuhalten, dann durch zwei U-Röhren, in deren Schenkeln sich eine 30 cm hohe Schicht Glaswolle befindet, welche mit 4 ccm Schwefelsäure befeuchtet ist. Täglich wird etwa 1 cbm Luft hindurchgesaugt. Nach 4 bis 6 Tagen wird diese Lösung mit Wasser ausgespült, mit Kalkmilch destillirt und im Destillat das Ammoniak mit Neßler'schem Reagens colorimetrisch bestimmt. Sämmtliche Reagentien müssen von Ammon frei sein, oder es muß ihr Ammongehalt bekannt sein.

Während Scheele schon das Vorkommen von Ammoniak in der Atmosphäre kannte, sind zuverlässige Bestimmungen erst in neuerer Zeit gemacht. Im Cubikmeter Luft fand Truchot [5]) in Clermont Ferrand 0,93 bis 2,79 mg, Levy [6]) in Montsouris 0 bis 0,087 mg, im Mittel 0,0278 mg, Macagno (S. 205) 0,05 bis 0,8 mg. Fodor fand in Pest im Durchschnitt

Herbst 1878	0,0558 mg.
Winter 1878/9	0,0251 „
Frühling 1879	0,0303 „
Sommer	0,0488 „
Herbst	0,0344 „

Dieser Ammoniakgehalt ist wesentlich auf die überall stattfindenden Fäulnißprocesse zurückzuführen.

Organisches. Ira Remsen [7]) saugt die zu untersuchende Luft durch ein Rohr an, welches mit Wasser benetzte Bimssteinstückchen enthält, destillirt dann mit Natriumcarbonat und bestimmt das vorhandene Ammonik colorimetrisch mit Neßler'schem Reagens. Der Rückstand wird dann mit alkalischem Permanganat

---

1) Dingl. 1879, 221, 472. — 2) Dingl. 1879, 233, 139. — 3) F. Fischer: Chemische Technologie des Wassers. 126. — 4) Fodor: Luft, Wasser und Boden. 74. — 5) Compt. rend. 77, 1159. — 6) Compt. rend. 84, 273; Fischer: Chemische Technologie des Wassers. 81. — 7) National Board of health Bullet. II, Nr. 11. D. Viertelj. f. öffentl. Ges. 1881, 307.

gekocht und das durch Zersetzung der organischen Stoffe gebildete sog. Albuminoidammoniak ebenso bestimmt. In gleicher Weise untersuchte Sloeten[1]) die Luft in Krankenhäusern; er fand 1878 in 100 000 Cubikfuß bis 175 Gran Ammoniak und bis 400 Gran Albuminoidammoniak. Das Verfahren ist keineswegs genau. Einfacher und wohl ebenso brauchbar ist die Prüfung des Wassers nach dem Durchstreichen der Luft mit übermangansaurem Kalium[2]).

Zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffes in der Luft saugen Dupre und Hake[3]) dieselbe durch Barytwasser, um den Kohlensäuregehalt festzustellen, sodann eine gleiche Luftmenge nach der Filtration durch Asbest über glühendes Kupferoxyd und dann durch den Absorptionsapparat. Der Unterschied der beiden Kohlensäurebestimmungen wird auf organischen Kohlenstoff berechnet. 10 Liter Luft enthielten danach 0,1 bis 0,2 mg organischen Kohlenstoff. — Den doch wahrscheinlich vorhandenen Kohlenoxydgehalt der Londoner Luft haben die Verfasser nicht berücksichtigt.

A. Müntz[4]) hat mittels der Jodoformreaction in der Luft, im Boden und in allen Wassern Alkohol aufgefunden; er führt denselben auf die Fäulnißprocesse zurück.

Im Allgemeinen ist die Untersuchung der atmosphärischen Luft auf organische Stoffe noch mangelhaft.

Staub. Zur Bestimmung des Staubes in der Atmosphäre saugte Pasteur[5]) die Luft durch Schießbaumwolle, welche er zur Isolirung des Staubes dann in Aetheralkohol löste. Fodor (a. a. O. S. 92) saugt die Luft durch ein Rohr mit Glaswolle; er fand im Cubikmeter Luft im Durchschnitt 0,4 mg Staub. Maddox[6]), Miquel[7]) u. A. leiten die angesaugte Luft gegen eine mit Glycerin überzogene Fläche. Smith[8]) schüttelte Wasser mit der zu untersuchenden Luft, Andere ließen die Luft durch das Wasser hindurchstreichen.

Die Menge des Staubes ist natürlich ungemein verschieden, je nach dem Ort der Beobachtung, dem Wetter und der Luftfeuchtigkeit. Die unorganisirten Theile desselben sind theils cosmischen Ursprungs, wie Tissandier[9]) nachwies, zum größten Theil werden sie aber gebildet vom Straßenstaub, dem Kohlenruß, dem Flugstaub der Fabriken, so daß in denselben alle möglichen Stoffe vorkommen können. Besonders wichtig sind aber die organisirten Bestandtheile. F. Cohn[10]) und Miflet haben mittels einer Wasserstrahlluftpumpe die auf Bakterien zu untersuchende atmosphärische Luft durch Lösungen von Malzextract oder Fleischextract gesaugt, die Flüssigkeiten drei Tage bei 30° stehen lassen und nun mikroskopisch untersucht. Sie fanden so in der Luft zahlreiche entwickelungsfähige Bakterienkeime, bis jetzt aber nicht Bacterium Termo, Spirillum und Spirochaete. Besonders reich war die Luft aus Cloaken an Bakterien. P. Miquel[11]) hat gefunden, daß

---

[1]) Journ. Americ. Chem. Soc. 1, 263. — [2]) Ferd. Fischer: Chemische Technologie des Wassers S. 124. — [3]) Chem. News (1881) 43, 69. — [4]) Compt. rend. 92, 499. — [5]) Compt. rend. 50, 302; 85, 178. — [6]) Compt. rend. 47, 979; Monthly microscop. journ. 3, 283. — [7]) Compt. rend. 86, 1552. — [8]) Smith: Air and Rain (London 1872), S. 487. — [9]) Compt. rend. 80, 58; 82, 388. — [10]) Biologie der Pflanzen 1879, Bd. 3, Heft 3, S. 119. — [11]) Compt. rend. 86, 387, 1552; 91, 64.

die Anzahl der Bakterien in der atmosphärischen Luft im Winter sehr klein ist, im Frühjahr rasch wächst, um bei Eintritt des ersten Frostes sehr rasch wieder abzunehmen. Ebenso verhalten sich die Sporen der Schimmelpilze. Im Sommer und Herbst ist jedoch die Anzahl der Bakterien in der Atmosphäre am größten bei trockner Luft, während bei feuchtem Wetter die Schimmelpilze überwiegen. Seltener fand er in der Luft Rhizopoden und Eier von Infusorien. Auch Hansen[1]) u. A.[2]) fanden in der Atmosphäre zahllose Bakterien und Pilze. Besonders umfassende Versuche über diese niederen Organismen in der Atmosphäre hat aber Fodor[3]) ausgeführt, auf welche hier verwiesen werden muß.

Untersuchung der Feuergase.

Geschichtliches. Die ersten Analysen von Verbrennungsgasen scheint Peclét[4]), und zwar im Jahre 1827, ausgeführt zu haben. Er ließ eine mit Wasser gefüllte Flasche in den Gasen, welche aus dem Schornsteine eines Dampfkessels entwichen, auslaufen, absorbirte die Kohlensäure dieser Gase mit Kali, den Sauerstoff durch Phosphor und fand so, daß bei gewöhnlichen Feuerungen nur die Hälfte der zugeführten Luft zur Verbrennung dient. Die ersten wissenschaftlich durchgeführten und damit auch die ersten zuverlässigen Analysen von Verbrennungsgasen liegen jedoch von R. Bunsen[5]) vor, während die Analysen von Ebelmen[6]) nur wenig Anspruch auf Genauigkeit machen können. Daran schließen sich die Versuche von Combes (1847), C. de Marsilly[7]), Cailletet[8]), Scheurer-Kestner[9]), Cl. Winkler u. A.; aber erst in den letzten Jahren hat sich die Erkenntniß allgemeiner Bahn gebrochen, daß die Untersuchung der Rauchgase auch für die Technik von hohem Werthe ist.

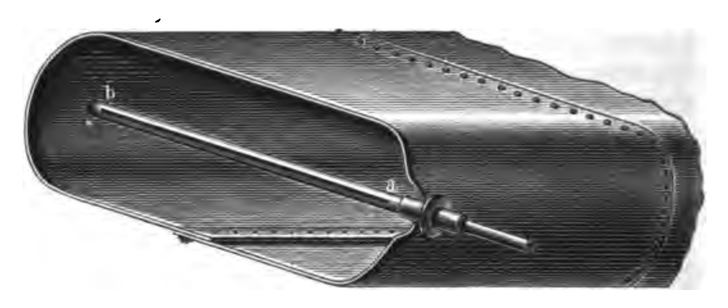
Probenahme. Ebelmen[10]) saugte die zu untersuchenden Gase mittels eines Gasometers, welches Quecksilber oder auch wohl Wasser mit einer aufschwimmenden Oelschicht enthielt, an, nachdem dieselben ein Rohr mit Bimssteinstückchen und Schwefelsäure zur Bestimmung des Wassergehaltes durchstrichen hatten. Scheurer-Kestner[9]) sog das Gas in ähnlicher Weise durch ein Platinrohr mit einem Schlitz *a b* Fig. 180 (a. f. S.) durch Ausfließenlassen von Quecksilber, später nach dem Vorschlage von Saint Claire-Deville[10]) mittels einer eigenthümlichen Wasserluftpumpe langsam an, um so eine Durchschnittsprobe der Gase, welche innerhalb mehrerer Stunden entweichen, zu bekommen. Da Wasser für die Gase ein sehr verschiedenes Lösungsvermögen besitzt, so kann das Ansaugen hiermit nur ungenaue Resultate geben. Weinhold[11]) erinnert daran, daß selbst ein solches Schlitzrohr

---

[1]) Zeitschr. f. d. ges. Brauwes. 1880, S. 277, 471. — [2]) F. Fischer: Verwerthung der städtischen Industrieabfallstoffe S. 14. — [3]) Fodor: Luft, Boden u. Wasser S. 97 bis 132. — [4]) Peclét: Traité de la chaleur 1, S. 299. — [5]) Dingl. 1839, 71, 321. — [6]) Dingl. 1842, 85, 35; 88, 288; 1851, 119, 350. — [7]) Bull. de la Soc. industr. d'Amiens. 1862, 57. — [8]) Bull. de la Soc. chim. (1866), 6, 104. — [9]) Dingl. 1870, 196, 28. — [10]) Bull. de la Soc. industr. Mulh. 1868; Civilingen. 1869, S. *158. — [11]) Dingl. 1876, 219, 411.

nicht die Gewißheit einer vollständigen Durchschnittsprobe giebt. Er saugt die Gase mittels eines Messingrohres in eine Flasche von 8 bis 10 Liter Inhalt durch Ausfließenlassen von Wasser langsam an, welches, wie bei Ebelmen, mit einer Oelschicht bedeckt ist, und untersucht die so erhaltene Durchschnittsprobe.

Fig. 180.



Scheurer-Kestner untersuchte 14 in der angegebenen Weise gesammelte Durchschnittsproben der Verbrennungsgase einer Dampfkesselfeuerung; in folgender Tabelle

Versuchsnummer	Ueberschüssige Luft	Zusammensetzung der Gase						Unverbrannt entwichen		Auf 1 qm Roststäche stündlich verbrannte Kohle	Höchste Temperatur der Austrittsgase	Auf einmal aufgegebene Kohlenmenge	Pausen zwischen dem Aufgeben	Dauer der Gasentnahme
		Stickstoff	Kohlensäure	Sauerstoff	Brennbare Gase: Kohlenoxyd	Brennbare Gase: Kohlenstoff	Brennbare Gase: Wasserstoff	Kohlenstoff	Wasserstoff					
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	k	Grad	k	Min.	Min.
12	6,66	80,38	14,87	1,41	0,84	1,15	1,35	18,8	9,5	40	119	7	5	—
11	10,47	80,60	14,16	2,18	0,97	0,98	1,11	18,6	7,4	47	128	14	8	—
9	13,32	80,66	14,63	2,80	0,86	0,49	0,56	11,9	4,2	47	126	7	4	3
13	17,61	81,52	13,34	3,77	—	0,46	0,91	6,8	7,8	40	135	7	5	—
14	20,94	80,23	13,43	4,42	0,42	0,32	1,41	6,3	9,6	40	—	14	10	—
6	25,09	79,92	13,46	5,27	—	0,52	1,08	7,6	21,7	—	—	—	—	8
8	26,18	80,34	12,89	5,53	—	0,28	1,96	4,6	22,3	23	93	7	8	3
4	26,32	78,75	13,80	5,53	—	0,86	1,06	12,4	20,7	—	—	—	—	1
10	42,84	79,76	10,87	8,99	—	0,19	0,19	3,1	6,3	92,5	156	7	2	3
5	51,42	79,88	8,62	10,83	—	0,14	0,53	3,2	17,7	45	—	—	—	8
7	53,78	79,86	8,23	11,35	—	0,04	0,52	0,9	18,1	16,6	94	6	10	3

sind die erhaltenen Resultate zusammengestellt, nur die drei ersten, unvollständigen Analysen sind fortgelassen. Die verbrannte Steinkohle von Ronchamp hatte folgende Zusammensetzung:

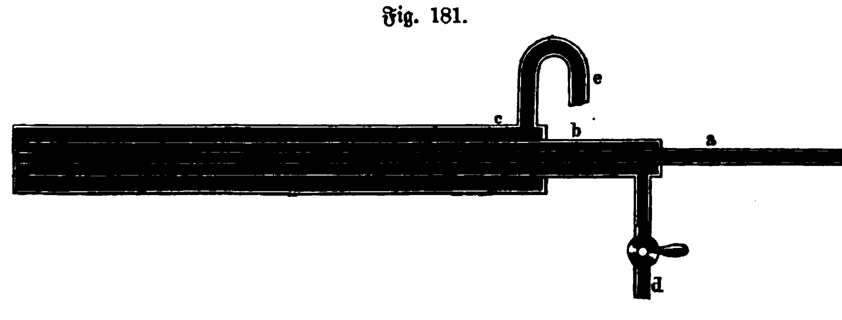
Kohlenstoff	70,0
Wasserstoff	4,0
Sauerstoff	4,0
Stickstoff	1,0
Asche	21,0
	100,0

Diese Angaben zeigen hinlänglich, daß derartige Durchschnittsanalysen kein richtiges Bild der Verbrennungsvorgänge geben können, daß sie daher von nur geringem Werthe sind. In weitaus den meisten Fällen empfiehlt es sich, eine Reihe rasch auf einander folgender Augenblicksanalysen auszuführen.

Schinz[1]) zog die Gase aus dem Rauchcanal durch Ausfließenlassen von Quecksilber und ließ dieselben direct in das Eudiometerrohr aufsteigen. Die Vorrichtung ist schwerfällig; noch weniger empfehlenswerth ist aber das Verfahren von Marsilly (S. 219), die Gase in ausgepumpte Kupfercylinder aufzufangen.

Zum Ansaugen der Gasproben genügen wohl überall die kleinen Gummigebläse (vergl. S. 207). Handelt es sich darum, Gase aus Oefen anzusaugen, deren Temperatur so hoch ist, daß man Dissociationserscheinungen vermuthet, so kann man, um eine nachträgliche Vereinigung derselben möglichst zu verhindern, dieselben durch ein Rohr *a* (Fig. 181) ansaugen, welches von zwei Röhren *b* und *c*

Fig. 181.

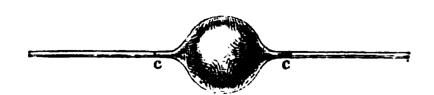


umgeben ist, die von *d* nach *e* von Wasser durchflossen werden[2]). Vor Anwendung nicht gekühlter Metallröhren ist dringend zu warnen, da sie aus Sauerstoff haltigen Gasen diesen schon bei niederen Temperaturen theilweise aufnehmen, an reducirende Gase aber wieder abgeben. Mir selbst ist es vorgekommen, daß Generatorgase, durch ein höchstens schwach rothwarm gewordenes Eisenrohr angesaugt, 26 Proc. Kohlensäure, durch Glasrohr angesaugt aber nur 1,5 Proc. Kohlensäure enthielten[3]). Für Temperaturen unter 600 bis 700° nehme man daher Glasrohre, für höhere Hitzegrade aber Porzellanrohre (Königl. Porzellanmanufactur in Berlin), welche in die Wandung des betreffenden Gasbehälters eingelassen werden, worauf man die Fugen dicht mit Lehm u. dgl. verstreicht. Ist man zweifelhaft, ob die Gase gut gemischt waren, so nimmt man zur Controle an irgend einer anderen Stelle des betr. Ofens oder Gascanales ebenfalls gleichzeitig einige Gasproben.

[1]) Heizung und Ventilation in Fabrikgebäuden (Stuttgart 1861), S. *64. — [2]) Vgl. Cl. Winkler: Untersuchung der Industriegase II. S. *16. — [3]) Vgl. Dingl. 1879, 232, 528.

Kann man die Gasproben nicht an Ort und Stelle untersuchen, so saugt man sie passend durch etwa 100 ccm fassende Glaskugeln (Fig. 182) an, schmilzt mit dem Löthrohr bei *c* ab und kann die Analyse nun zu gelegener Zeit ausführen. Um z. B. die Gase aus Bessemerbirnen zu untersuchen, ließ ich die Mündung des Porzellanrohres *e* (Fig. 183) etwa 5 cm aus dem stützenden Eisenrohr *b* vorstehen, verband beide mit einem Wulst von Chamottemasse *a*, und vorher das Porzellanrohr bei *c* mit Thon und Wasserglas mit einem Glasrohr *z*, welches wieder mittels Gummischlauch *g*

Fig. 182.

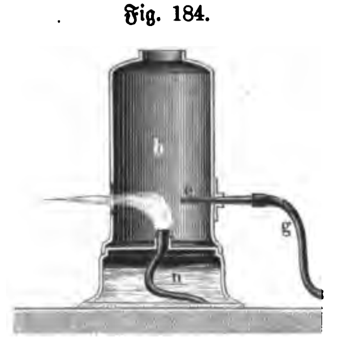


mit einer Anzahl der erwähnten Kugeln verbunden war, worauf schließlich der Gummiaspirator folgte. Das Rohr wurde nun wagerecht so auf die Mündung der Bessemerbirne gelegt, daß die Mündung des Porzellanrohres mitten im Gasstrom war, mittels des Gummiaspirators die Gase angesaugt und nun von zwei zu zwei Minuten eine Kugel abgeschmolzen.

Fig. 183.

Um dieses Abschmelzen auch im Freien bequem ausführen zu können, verwende ich eine kleine Oelflamme *n*, deren Messingmantel *b*, wie der Durchschnitt Fig. 184 zeigt, die durch Schlauch *g* mit entsprechendem Mundstück verbundene Löthrohrspitze *e* trägt. Dieser gegenüber ist ein Ausschnitt in dem abgeplatteten Mantel angebracht, aus welchem die Löthrohrflamme heraustritt.

Fig. 184.



Zur **Bestimmung des Rußes** saugt Scheurer-Kestner[1]) nach dem Vorschlage von Minary die Rauchgase durch ein mit einer 20 cm langen Asbestschicht versehenes Verbrennungsrohr an, trocknet, verbrennt den abgesetzten Ruß im Sauerstoffstrom und berechnet die Menge desselben aus der gebildeten Kohlensäure. Er führte in dieser Weise folgende zwei Versuche aus: Bei lebhaftem Feuer wurden während einer Stunde 86 Liter Gase, welche 8,5 Proc. Kohlensäure und 53,4 Proc. überschüssige Luft enthielten,

[1]) Dingl. 1870, 196, 34.

angesaugt und beim Verbrennen des Rußes im Sauerstoffstrome 70 mg CO_2 erhalten. Die 15200 Liter Gas, welche nach obiger Analyse für 1 *k* Steinkohle verwendet wurden, enthielten somit 3,61 g Kohlenstoff; der Verlust an Ruß betrug somit 0,48 Proc. des in der Kohle enthaltenen Kohlenstoffes. Bei gedämpftem Feuer und sehr schwachem Zuge enthielten die Verbrennungsgase 14,8 Proc. Kohlensäure und 6,7 Proc. überschüssige Luft, sowie in 57 Liter 55 mg Kohlenstoff, entsprechend 1,27 Proc. Verlust.

Der **Wassergehalt** der Verbrennungsgase ist oft (Ziegel-, Potasche-, Hohofen) so groß, daß sich ein Theil desselben schon in dem Ansaugrohr verdichtet, so daß eine genaue Bestimmung hier kaum ausführbar. Die Brennstoffe enthalten meist so viel Wasser, daß die directe Bestimmung des in den Gasen enthaltenen weniger Werth hat. Ist sie aber erforderlich, so werden 40 bis 50 Liter des Gases durch eine dünne Schicht Asbest, dann durch concentrirte Schwefelsäure angesaugt, aus dessen Gewichtszunahme die Menge des Wasserdampfes in bekannter Weise berechnet wird. Empfehlenswerth hierfür ist der kleine Apparat von C. Reischauer (Fig. 185), bei welchem die beiden senkrechten, mit Bimssteinstückchen gefüllten Schenkel *e* unten durch eine in der Richtung des Gasstromes schräg aufsteigende Kugel verbunden sind, so daß es leicht ist die Bimssteinstückchen durch Neigen des Apparates mit der in der Kugel befindlichen Schwefelsäure zu benetzen. Als Halter für diese Röhren dient die hölzerne mit dreieckiger Rinne zur Aufnahme des einen Schenkels versehene Vorrichtung. Durch eine Feder von Eisendraht mit doppelter Spiralwindung, deren Ende rechtwinklig umgebogen ist und auf den einen Schenkel drückt, wird der Apparat darin festgehalten, ist indeß behufs Reinigung oder neuer Beschickung mit der betreffenden Flüssigkeit durch Abbiegen der Feder leicht auszulösen.


Fig. 185.



Gewichtsanalyse. Ebelmen[1]) saugt 2 Liter der betreffenden Gase mittels eines Aspirators durch einen Liebig'schen Kaliapparat zur Bestimmung der Kohlensäure, leitet das Gas dann durch ein mit metallischem Kupfer und Kupferoxyd gefülltes Rohr und läßt es schließlich durch ein Chlorcalciumrohr und einen Kaliapparat streichen. Den Sauerstoff berechnet er aus der Gewichtszunahme des Rohres, die brennbaren Gase aus der durch das Kupferoxyd gebildeten Kohlensäure und dem Wasser, und zwar den Kohlenstoff derselben als Kohlenoxyd, den Wasserstoff als freien Wasserstoff. Er findet so viel mehr Sauerstoff und brenn-

[1]) Ebelmen: Chemie, céramique 1861, II. S. 585.

bare Gase, als überhaupt vorhanden sein können; dies zeigen auch folgende von Debette in gleicher Weise ausgeführte Analysen der Rauchgase eines Steinkohlenfeuers:

Kohlensäure	7,73	8,61
Kohlenoxyd	0,01	0,47
Sauerstoff	14,27	13,80
Wasserstoff	1,63	1,14
Stickstoff	76,36	75,98.

Keller[1]) und Scheurer-Kestner[2]) verfahren ebenso; letzterer vermeidet aber den erwähnten Fehler durch directe eudiometrische Bestimmung des Sauerstoffes mit Stickoxyd oder pyrogallussaurem Kalium, giebt jedoch selbst zu, daß der Wasserstoff auf diese Weise etwas zu hoch gefunden werde, da das Chlorcalciumrohr einige Male auch bei gleicher Behandlung von atmosphärischer Luft eine Gewichtszunahme zeigte. Uebrigens giebt auch die Sauerstoffbestimmung mit Stickoxyd unzuverlässige Resultate, da je nach den Mengenverhältnissen der Mischung N_2O_3 oder NO_2, selbst HNO_3 gebildet wird.

Fresenius[3]) leitet die Gase aus Generatoren, Hohöfen u. dgl. zunächst durch ein Chlorcalcium- und ein Natronkalkrohr zur Bestimmung der Feuchtigkeit und der Kohlensäure, dann durch glühendes Kupferoxyd und berechnet aus der gebildeten Kohlensäure und dem Wasser den Gehalt der brennbaren Gase an Kohlenstoff und Wasserstoff. Sauerstoff wird nicht bestimmt; Fresenius meint aber, daß dies durch Wiegen des Verbrennungsrohres geschehen könne. Stöckmann[4]) verfährt ebenso; er berechnet den Kohlenstoff und Wasserstoff der brennbaren Gase auf Kohlenoxyd, Grubengas und Wasserstoff. Er findet auf diese Weise übrigens einen auffallend hohen Gehalt an Wasserstoff; die Gase eines Kokeshochofen hatten z. B. folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure	12,35
Kohlenoxyd	24,46
Kohlenwasserstoff (CH_4)	0,37
Wasserstoff	4,97
Stickstoff	57,85
	100,00.

Da bei diesen Gewichtsanalysen immer größere Mengen der zu untersuchenden Gase erforderlich sind, sollen nicht die unvermeidlichen Versuchsfehler das Resultat völlig unsicher machen, da ferner der Sauerstoff nicht genau bestimmbar ist, die Kohlenwasserstoffe nicht unterschieden werden, so ist dieses Verfahren nur in wenigen Fällen dem volumetrischen vorzuziehen.

Apparate zur volumetrischen Bestimmung. Die zur volumetrischen Untersuchung der Feuergase verwendeten Apparate sind theils solche, bei denen Absorption und Messung in demselben Rohr erfolgt, während bei den übrigen Arbeitsrohr und Meßrohr getrennt sind.

---

[1]) Dingl. 1855, **135**, 393. — [2]) Dingl. 1870, **196**, *30. — [3]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1864, *343. — [4]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1875, 47; Stöckmann, Die Gase des Hochofens S. *3.

Zu den Apparaten der ersteren Art gehört außer dem Eudiometer von Bunsen (S. 188) die Gasbürette von Cl. Winkler[1]). Die beiden Schenkel *A* und *B* (Fig. 186) sind an der Krümmungsstelle durch ein Stück Kautschukrohr verbunden, dessen nach unten führender Ansatz die Reinigung sehr erleichtert. Der Apparat steht passend auf einem Untersatz *C* mit bleiernem Abfallrohr *f*. Zunächst wird das getheilte Rohr *A* mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt, worauf man die beiden Hähne *a* und *b* abschließt.

Fig. 186



Die Absorptionsflüssigkeit wird in das Rohr *B* eingeschüttet, dann das sich unter dem Dreiweghahn *a* sammelnde Gas durch die Längsbohrung desselben nach außen geleitet, worauf man durch Senkrechtstellung des Hahnes die Verbindung zwischen beiden Röhren herstellt. Zur Erleichterung des Eintrittes der Absorptionsflüssigkeit in das Rohr *A* kann man durch das Rohr *e* etwas Luft einblasen. Um nun die eingedrungene Flüssigkeit mit dem in *A* befindlichen Gase in innigste Berührung zu bringen, ist das Stativ, welches die Schenkelröhre trägt, so eingerichtet, daß man diese wechselweise vertical und horizontal stellen kann. Bevor man ihr Horizontalstellung giebt, hat man den Hahn *a* in die frühere abschließende Stellung zu bringen, weil sonst sehr leicht Gas aus der Röhre austreten kann. Bei der Horizontalstellung der Röhre erfolgt nun die Absorption äußerst lebhaft, wie man wahrnimmt, wenn man dem Apparate wieder senkrechte Lage giebt und den Hahn *a* aufs Neue öffnet. Sofort dringt weitere Flüssigkeit mit Beschleunigung in die Meßröhre ein. Dieses Wenden oder Wiegen des Apparates setzt man, unter jedesmaligem Abschließen des Hahnes *a*, so lange fort, bis kein weiteres

[1]) Dingl. (1876) 219, *413. Winkler: Untersuchung der Industriegase II, S. *133; Journ. f. prakt. Chem. (1872) 6, *203.

Eindringen von Flüssigkeit mehr bemerkt werden kann, wozu in den meisten Fällen eine Zeitdauer von wenigen Minuten erforderlich ist. Mittels des Abflußrohres *c* oder des Schlauches *d* stellt man dann die Flüssigkeiten in beiden Röhren gleich hoch, worauf die Menge der eingetretenen Flüssigkeit der des absorbirten Gases entspricht. Handelt es sich um die Ausführung einer ganzen Analyse, so wendet man zweckmäßig eben so viele Apparate an, als man Bestimmungen zu machen hat. Man koppelt dieselben durch Kautschukschläuche an einander, saugt sie gemeinsam voll und hat nun eine der Zahl der Apparate entsprechende Anzahl genau bestimmter Gasvolumina dicht abgeschlossen zur Verfügung, welche unter gleichen Druck- und Temperaturverhältnissen und mit Wasserdampf gesättigt zur Absperrung gelangten, so daß, da es sich nur um Feststellung der Volumverhältnisse handelt, die üblichen Correctionen entbehrlich werden. Da in jedem der zusammengekoppelten Apparate ein anderer Gasbestandtheil bestimmt wird, so wird ein jeder auch eine andere Absorptionsflüssigkeit enthalten müssen. So absorbirt man z. B. in dem einen Kohlensäure durch Kalilauge, in einem zweiten Sauerstoff mittels alkalischen Pyrogallols, in einem dritten Kohlenoxyd durch Kupferchlorürlösung. Werden zwei verschiedene Gase gleichzeitig von ein und derselben Absorptionsflüssigkeit aufgenommen, so muß man das eine vor dem Einfüllen der Gasprobe in die Meßröhre entfernen.

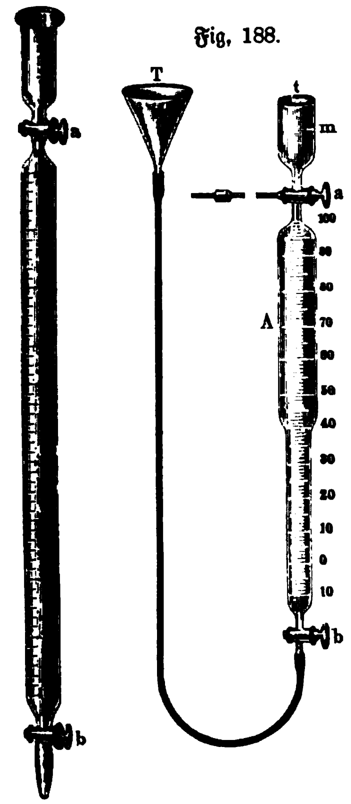
F. M. Raoult[1]) füllt die einfache Bürette Fig. 187 mit dem zu untersuchenden Gase, taucht sie mit dem Hahn *b* in Wasser, öffnet diesen bis die Flüssigkeit genau auf dem Theilstrich 100 steht und öffnet dann den oberen Hahn um das Gas unter Atmosphärendruck zu bringen. Man saugt nun mittels Gummischlauch aus dem senkrecht gestellten Rohr nach Oeffnung des Hahnes *b* vorsichtig das Wasser ab, schließt den Hahn ohne daß Luft eintritt, füllt den Trichteraufsatz mit der Absorptionsflüssigkeit und öffnet Hahn *a*, so daß die Flüssigkeit eindringt. Nach beendeter Absorption gießt man durch den Trichteraufsatz bei geöffneten Hähnen Wasser ein, um die Absorptionsflüssigkeit zu entfernen, stellt wieder auf Atmosphärendruck ein und liest ab. In gleicher Weise kann ein zweiter oder dritter Bestandtheil bestimmt werden.

Diesen Apparat hat H. Bunte[2]) verbessert (Fig. 188). Um Gas in die Bürette zu füllen, schiebt man einen Kautschukschlauch, der mit der Gasleitung verbunden ist, über die Spitze des Dreiweghahnes *a* und setzt das Innere des Meßrohres durch Drehung dieses Hahnes mit der axialen Bohrung desselben in Verbindung. Man saugt sodann bei geöffnetem Hahn *b* so lange Gas durch die Bürette, bis die vorher eingeschlossene Luft durch das zu untersuchende Gas verdrängt ist und schließt die Hähne *a* und *b*. Die Spitze des Hahnes *a* wird durch ein Stückchen Kautschukschlauch mit Glasstopfen oder Quetschhahn geschlossen und der Trichter *t* bis zur Marke *m* mit Wasser gefüllt. Um das unter beliebigem Druck eingeschlossene Gasvolum auf 100 ccm und unter bekannten Druck zu bringen, drückt man mittels eines Trichters *T* und ein daran schließendes enges Kautschukrohr in der gezeichneten Anordnung Wasser von unten in die Bürette bis zum

[1]) Compt. rend. 82, *844. — [2]) Journ. f. Gasbeleucht. 1877, *447; Dingl. (1878) 227, *167; 228, *529.

Nullpunkt, indem man selbstverständlich Sorge trägt, daß das Kautschukrohr vor der Verbindung mit der Bürette sich vollständig mit Wasser füllt. Setzt man nun, nachdem *b* geschlossen, durch eine Drehung des Hahnes *a* das Innere der Bürette mit dem mit Wasser gefüllten Trichter in Verbindung, so entweicht ein Theil des Gases in Blasen, bis der eingeschlossene Rest unter dem Druck der Atmosphäre und einer Wassersäule von einigen Centimeter steht. Das im Trichteraufsatz *t* befindliche Wasser wird capillar in dem Verbindungsrohr und der Hahnbohrung festgehalten und bleibt über dem in der Bürette eingeschlossenen Gas stehen, ohne daß Wasser eindringen oder mehr Gas entweichen kann. In derselben Weise kann bei jedem beliebigen Stand der Flüssigkeit im Meßgefäß das eingeschlossene Gas unter gleiche Druckverhältnisse gebracht werden. Man saugt das Wasser bis auf einen geringen Rest aus der Bürette und schließt den Hahn *b*. Das Absorptionsmittel wird in eine Porzellanschale gegossen und die untere Spitze der Bürette unter den Flüssigkeitsspiegel getaucht; öffnet man nun den Hahn *b*, so wird das flüssige Absorptionsmittel eingesaugt. Nachdem der Hahn *b* wieder geschlossen ist, wird zur Beschleunigung der Absorption die Bürette horizontal gelegt, oder besser geschüttelt. Um einer vollständigen Absorption des Gemengtheiles durch das angewendete Reagens sicher zu sein, läßt man nach dem Umschütteln abermals Absorptionsflüssigkeit eintreten und wiederholt dieses bis der Stand der Flüssigkeit im Meßrohr constant bleibt. Vor der Ablesung setzt man durch Drehen des Hahnes *a* das Meßrohr mit dem Wasser im Trichter *t* in Verbindung; es fließt Wasser ein, bis sich der frühere Druck wieder hergestellt hat; nöthigenfalls wird der Trichter bis zur Marke *m* mit Wasser aufgefüllt. Die Ablesung ergiebt direct den Procentgehalt des untersuchten Gases an dem absorbirten Bestandtheil.

Fig. 187. Fig. 188.



M. Liebig [1]) befestigt drei oder mehr, etwa 105 ccm fassende Büretten derart an einem Gestell (Fig. 189 a. f. S.), daß sie zur Beschleunigung der Reaction auch senkrecht und wagrecht gestellt werden können. Die Flasche *D* dient zur Aufnahme der ausgenutzten Absorptionsflüssigkeiten. Dieselbe ist mit einem zwei-

[1]) Dingl. (1873) 207, *37; (1879) 233, *396.

fach durchbohrten Kautschukstopfen geschlossen, welcher zwei rechtwinklig gebogene Glasröhrchen trägt. Während das bis auf den Boden der Flasche reichende Röhrchen durch einen Kautschukschlauch mit dem Rohransatz der Bürette verbunden ist, ist am Rohr *d* ein Schlauchstück befestigt, welches mit einer kleinen gläsernen Wasserstrahlpumpe in Verbindung gebracht wird. Die Arbeit mit dem Apparate ist nun folgende. Der Hahnschlüssel des Hahnes *a* wird mittels eines Kautschukschlauches mit dem Raume verbunden, aus welchem das zu analysirende

Fig. 189.



Gas entnommen werden soll, und die Verbindung mit dem Innern der Bürette *A* hergestellt; ferner das Innere der Bürette, welche unten durch geeignete Hahnstellung abgeschlossen war, mit der Flasche *D* unter gleichzeitiger Lüftung des Quetschhahnes verbunden und dadurch mittels der Wasserstrahlpumpe so lange Gas durch den Apparat gesaugt, bis man alle Luft durch dasselbe verdrängt glaubt, worauf man die Bürette nach Schluß des Quetschhahnes oben durch Drehung

des Hahnes a um 180° abschließt. Man dreht nun auch den unteren Hahn α um 90°, so daß die Flasche F mit der Flasche D in Verbindung steht, sobald der Quetschhahn geöffnet wird. Jetzt wird der Quetschhahn so lange gelüftet, bis etwas Flüssigkeit aus F in D erscheint, wodurch alle Luft und alles Gas aus den Schläuchen verdrängt wird. Nach erfolgtem Schluß des Quetschhahnes wird der Hahn α um 180° gedreht; es tritt nun Sperrflüssigkeit in die Bürette und verdichtet dort das Gas. Stellt man jetzt den Flüssigkeitsspiegel von F in gleiche Höhe mit der Marke 100° und verbindet das Innere der Bürette auf kurze Zeit durch Drehung des oberen Hahnes a mit der atmosphärischen Luft, so bleiben in der Bürette genau 100 Raumtheile des Gases unter dem gerade herrschenden Drucke der Atmosphäre zurück. Sind nun die 100 Raumtheile des zu untersuchenden Gases abgemessen, so gilt es, in der Bürette Raum für das erste Absorptionsmittel zu schaffen. Zu dem Zwecke bringt man die Bürette A mit dem nach D führenden Schlauch durch Drehung von α um 90° in Verbindung. Durch Lüften des Quetschhahnes läßt man die Sperrflüssigkeit mittels der Wirkung der an d saugenden Luftpumpe fast vollständig nach D übertreten, worauf man A durch α abschließt. Man tauscht jetzt die Wasserflasche F gegen die erste Reagentienflasche aus, füllt Schlauch und Hahncanal durch Lüften des Quetschhahnes vollständig mit der Absorptionsflüssigkeit an und stellt dann die Verbindung von F mit A her. Die Flüssigkeit dringt jetzt heftig in die mit verdünntem Gas gefüllte Bürette ein. Durch mehrere Mal wiederholtes Schließen von α, Schwenken der Bürette und Oeffnen des Hahnes wird die Absorption in bekannter Weise beschleunigt, nach Vollendung derselben endlich der Flüssigkeitsspiegel von F in gleiche Höhe mit dem der Bürette gebracht und die Ablesung vorgenommen. Verträgt es der Charakter der Absorptionsflüssigkeiten (wie z. B. bei Kalilauge und alkalischer Pyrogallussäure), so kann man nach möglichst erfolgtem Absaugen der verbrauchten Flüssigkeit die zweite Absorption in derselben Bürette und in gleicher Weise, wie man sie bei der ersten beobachtete, ausführen. Hat man aber mit einem Absorptionsmittel zu arbeiten, welches auf das vorhergehende schädlich einwirkt, so treibt man das übrig gebliebene Gas mittels der ersten Absorptionsflüssigkeit aus der ersten Bürette in eine zweite über, in welcher es direct mit dem nächsten Absorptionsmittel in Berührung tritt.

Morgan[1]) hat, um ohne Wanne arbeiten zu können, den unteren offenen Theil eines Eudiometers A bei B (Fig. 190 a. f. S.) mit einem starken Gummischlauch versehen, während seitlich ein oben offenes Rohr D angeschmolzen ist. Dieses wird durch einen Kork verschlossen, der Apparat umgekehrt mit Quecksilber gefüllt, der Quetschhahn E aufgesetzt und nun in den aufrecht gestellten Apparat durch ein Rohr das Gas aufsteigen gelassen, während der Quetschhahn E soweit geöffnet ist, daß das Quecksilber eben abfließen kann. Man stellt bei jeder Ablesung das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch. Die Absorptionsflüssigkeiten gießt man in das Rohr D ein und läßt sie durch Neigen des Apparates in dem Schenkel A aufsteigen.

---

[1]) Chem. N. 35, *207.

Williamson und Russel[1]) setzen um die Correctionen zu umgehen neben das Eudiometerrohr eine andere Röhre von gleichem Durchmesser und von etwa 15 cm Länge in die Quecksilberwanne, welche an dem offenen Ende mit einer ebenso langen, engeren Röhre verbunden ist und Luft enthält, deren Volum bei Normaldruck und Normaltemperatur durch einen Strich an der engeren Röhre angegeben ist, so daß dieses Normalvolum bei jedem Druck und bei jeder Temperatur durch Heben und Senken hergestellt werden kann. W. Gibbs[2]) verwendet in ähnlicher Weise eine besondere, kalibrirte Vergleichsröhre mit feuchter Luft, deren Volum V_0 bei 0° und 760 mm genau bestimmt ist. Das Eudiometer, welches das zu messende Gas ebenfalls im feuchten Zustande enthält und dicht neben der Vergleichungsröhre in der Quecksilberwanne steht, wird so eingestellt, daß die Quecksilbersäulen in beiden Röhren genau die gleiche Höhe haben. Ist alsdann v_0 das in der Vergleichsröhre enthaltene, v das Gasvolum des Eudiometers, so findet man das letztere auf 0° und 760 mm reducirt durch die Proportion $V : V_0 = v : v_0$.

Fig. 190.



Ein Apparat mit getrennter Meß- und Arbeitsröhre wurde (1849) zuerst von V. Regnault und J. Reiset[3]) angegeben. Das Meßrohr ab (Fig. 191, 192) von 15 bis 20 mm Durchmesser ist mit einer Millimetertheilung versehen und läuft oben in das Capillarrohr ahr' aus; in der Nähe von a sind zwei Platindrähte zur Entzündung von Knallgasmischungen eingeschmolzen. Das untere Ende dieses Meßrohres ist in die gußeiserne Fassung N eingekittet, welche die beiden Tubulaturen b und c und den Dreiweghahn R trägt, durch den man die Verbindung der Röhre $a\,b$ und der in c eingekitteten, an beiden Seiten offenen und ebenfalls mit Millimetertheilung versehenen Röhre $c\,d$ unter sich oder auch nach außen herstellen kann. Beide Röhren werden von dem mit Wasser gefüllten Glascylinder MN umschlossen, dessen Temperatur das Thermometer T angiebt, und mittels der Stellschrauben an dem gußeisernen Gestell Z senkrecht gestellt. Die unten offene Arbeitsröhre gf endet oben in die Capillarröhre fnr; sie taucht in eine gußeiserne Quecksilberwanne V, welche auf dem Tischchen m befestigt ist und mittels des in die Zahnstange i eingreifenden Triebrades o und der Kurbel I auf und ab bewegt und durch den Sperrkegel p in beliebiger Höhe festgehalten werden kann. Die beiden Capillarröhren sind in zwei stählerne Hähne r, r' eingekittet, welche genau in einander passen. Die Verbindungsstelle wird mit geschmolzenem Kautschuk überzogen und mittels der Messingklemme q fest zusammen gepreßt. Die Arbeitsröhre wird durch die Klemme x, welche mittels der Schraube s geöffnet und geschlossen werden kann, in senkrechter Lage erhalten.

[1]) Journ. Chem. Soc. 6, 128; Dingl. (1878) 227, 177.
[2]) Amer. journ. of scienc. 49, 1.
[3]) Ann. Chim. Phys. 27, *333.

Zum Gebrauch des Apparates gießt man, bei passender Stellung des Hahnes *R*, in die Röhre *cd* Quecksilber, so daß dasselbe in *ab* aufsteigt, bis es

Fig. 191. Fig. 192.



den Hahn *r'* erreicht, worauf dieser geschlossen wird. Dann macht man das Rohr *gf* aus der Klammer *x* los, taucht es völlig in die Quecksilberwanne ein und

saugt mittels eines Kautschukschlauches das Quecksilber hoch, bis es den geöffneten Hahn *r* erreicht, worauf derselbe auch geschlossen wird. Das zu untersuchende

Fig. 193.



Gas läßt man nun in das Rohr *g f* aufsteigen, befestigt dasselbe mittels *x* und verbindet die Hähne *r*, *r'* in der angegebenen Weise. Hebt man nun die Wanne *V*

und läßt aus R Quecksilber ausfließen, so tritt das Gas in das Meßrohr über, dessen Wände mit ein wenig Wasser benetzt sind, sobald die Hähne r, r' geöffnet werden. Erreicht das aufsteigende Quecksilber die an dem Capillarrohre angebrachte Marke σ, so wird r' geschlossen. Man bringt hierauf das Niveau des Quecksilbers auf einen bestimmten Theilstrich a der Röhre $a\,b$ und liest den Höhenunterschied beider Quecksilbersäulen an der Theilung der Röhre $c\,d$ ab. Man läßt nun von neuem Quecksilber aus dem Hahn R ausfließen, öffnet r', um alles Gas sowie eine Quecksilbersäule nach $a\,r'$ überzuführen, und schließt dann r' wieder. Nun nimmt man die Arbeitsröhre ab, läßt mittels einer gekrümmten Pipette einen Tropfen concentrirter Kalilauge in derselben aufsteigen und befestigt sie wieder an ihrer Stelle. Man füllt dann $c\,d$ mit Quecksilber, senkt die Quecksilberwanne V und öffnet vorsichtig die Hähne r, r', so daß das Gas aus der Meßröhre in die Arbeitsröhre übergeht. Nach einigen Minuten bringt man in bekannter Weise das Gas in die Meßröhre zurück und wiederholt zur vollständigen Absorption der Kohlensäure dieses Hinüberschaffen des Gases aus einer in die andere Röhre noch ein oder zwei Mal. Wird das Gas zuletzt in das Meßrohr übergeführt, so schließt man r', sobald die Lauge die Marke σ erreicht. Man bringt nun in der Röhre $a\,b$ das Quecksilber wieder auf a, mißt den Höhenunterschied h der beiden Quecksilbersäulen und bestimmt den Barometerstand.

Zur Bestimmung des Sauerstoffes löst man das Arbeitsrohr $g\,f$, reinigt es, füllt es mit Quecksilber und verbindet es wieder mit dem Meßrohr. Durch Heben der Wanne und Ausfließenlassen von Quecksilber aus R saugt man das Quecksilber nach Oeffnen der Hähne r, r' in die Röhre $a\,r'$ bis zur Marke h, berechnet das jetzige Volum des Gases, läßt Wasserstoff zutreten und den Funken überspringen. Statt das Volum des Gases constant zu lassen und nur die Spannkraft zu messen, kann man auch die Spannung constant lassen und das Volum messen; doch muß in diesem Falle die Meßröhre genau kalibrirt sein.

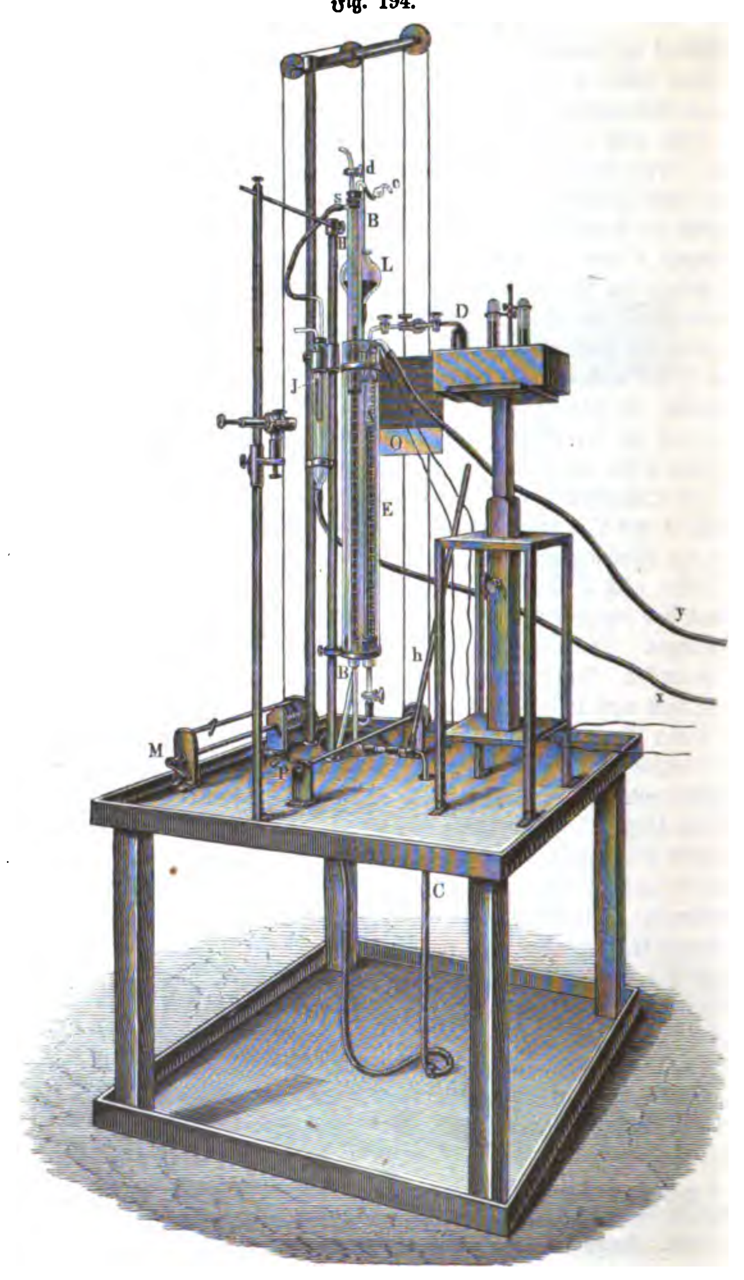
Dieser Apparat wurde durch Frankland und Ward [1]), dann von Frankland [2]) verändert und vereinfacht. Der längere Schenkel C (Fig. 193) der U-förmigen Glasröhre von 16 mm innerer Weite ist 110 cm, der kürzere bis zur Verengung A 35 cm lang. Diese Verengung von nur 1,5 mm innerer Weite setzt sich in das mit einem Glashahn e versehene Capillarrohr d fort, welches in ähnlicher Weise wie bei Regnault durch Stahlhülsen bei f mit der Verengung g der Arbeitsröhre D verbunden ist. Diese Röhre D ist 100 mm hoch, 38 mm weit und steht in der Quecksilberwanne G. Ueber den kürzeren Schenkel der Meßröhre ist mittels des Kautschukstopfens F ein Glascylinder H geschoben, der das Thermometer t trägt und mit Wasser gefüllt ist, welches mittels des Drahtes h umgerührt werden kann. An den längeren Schenkel des Meßrohres C ist unten das Röhrchen b angeschmolzen, welches mittels eines Kautschukschlauches mit der Quecksilberflasche L verbunden ist. Beide Schenkel von C sind von oben nach unten mit einer Millimetertheilung versehen, deren Nullpunkt bei senkrechter Stellung derselben genau in gleicher Höhe liegt. Nach-

---

[1]) Handwörterbuch d. Chem. (1857), Bd. 1, S. *956; Chem. N. 36, 249; Dingl. (1878) 227, *252. — [2]) Rivers Pollution Commission (1868); sixth report (London 1874), 508. Journal of the Chemical Society, Serie 2, 6, 109.

dem durch entsprechendes Heben und Senken der Flasche L der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt ist, wird das zu untersuchende Gas in bekannter Weise in

Fig. 194.



die Arbeitsglocke D aufsteigen gelassen, dann in das Rohr A übergesaugt und dort gemessen. Nun wird es wieder durch Heben der Flasche L in die Glocke zurückgeführt, dort mit den entsprechenden absorbirenden Lösungen behandelt und zur Messung jedesmal wieder in das mit Wasser umgebene Eudiometerrohr A übergeführt. Die Berechnung geschieht wie bei Bunsen unter Berücksichtigung der Höhenunterschiede der Quecksilbersäulen in A und C.

Die Fig. 194 veranschaulicht den großen Apparat von Mc Leod [1]). Das Eudiometerrohr A ist in bekannter Weise mit dem Arbeitsrohr D verbunden, das Barometerrohr B wie bei Frankland und Ward oben mit einem Hahn d versehen, der beim Füllen mit Quecksilber geöffnet wird. Das Heberrohr H ist ebenfalls mit dem kleinen Kugelapparat c und dem kleinen Ansatzrohr s versehen, welches durch einen Kautschukschlauch mit dem gebogenen Rohr in J in Verbindung steht. Das nach dem Kühlcylinder E aus einer Leitung durch y zufließende Wasser steigt in H auf, so daß das Barometerrohr überall dieselbe Temperatur behält und fließt durch s, J und den Schlauch x wieder ab. Sollen die Platindrähte in A zur Explosion trocken gelegt werden, so wird H einfach etwas gesenkt. Die Quecksilberflasche L wird durch eine Schnur bei Drehung der Kurbel M auf- und abgeführt. Der Zufluß des Quecksilbers durch den Verbindungsschlauch von L nach A und B durch den Schlauch C wird mittels eines Hahnes mit langem Hebelarm h geregelt, damit die Röhren durch den Stoß nicht zerbrechen. Die Ablesung geschieht mit dem Fernrohr; sie wird erleichtert durch die Scheibe O, welche durch die Kurbel P auf- und abbewegt werden kann.

Bei Parry [2]) finden wir Meß- und Arbeitsrohr in umgekehrter Anordnung. Aehnlich ist der für Seereisen bestimmte Apparat von J. Buchanan [3]), welcher ohne Quecksilberwanne arbeitet, sowie der von Jolly [4]), bei dem, wie bei Regnault und Reiset, die Druckveränderungen bei gleichbleibendem Volum gemessen werden.

Wie bereits früher [5]) bemerkt besteht der vom Verfasser verwendete Apparat (Fig. 195 a. f. S.) im Wesentlichen aus dem Arbeitsrohr A und dem Meßrohr M. Letzteres ist der ganzen Länge nach mit Millimetertheilung versehen und zum Schutz gegen Temperaturschwankungen in ein mit Wasser gefülltes zweites Rohr gesteckt, welches von zwei Armen des Gestelles g getragen wird. Oben geht diese Bürette in ein dickwandiges Capillarrohr über, mit dem einfachen Hahn h und dem Dreiweghahn d, welches bei e durch einen übergeschobenen kurzen Gummischlauch mit dem gut vorgeschliffenen Ende des Verbindungsrohres von dem Absorptionsrohr A verbunden ist.

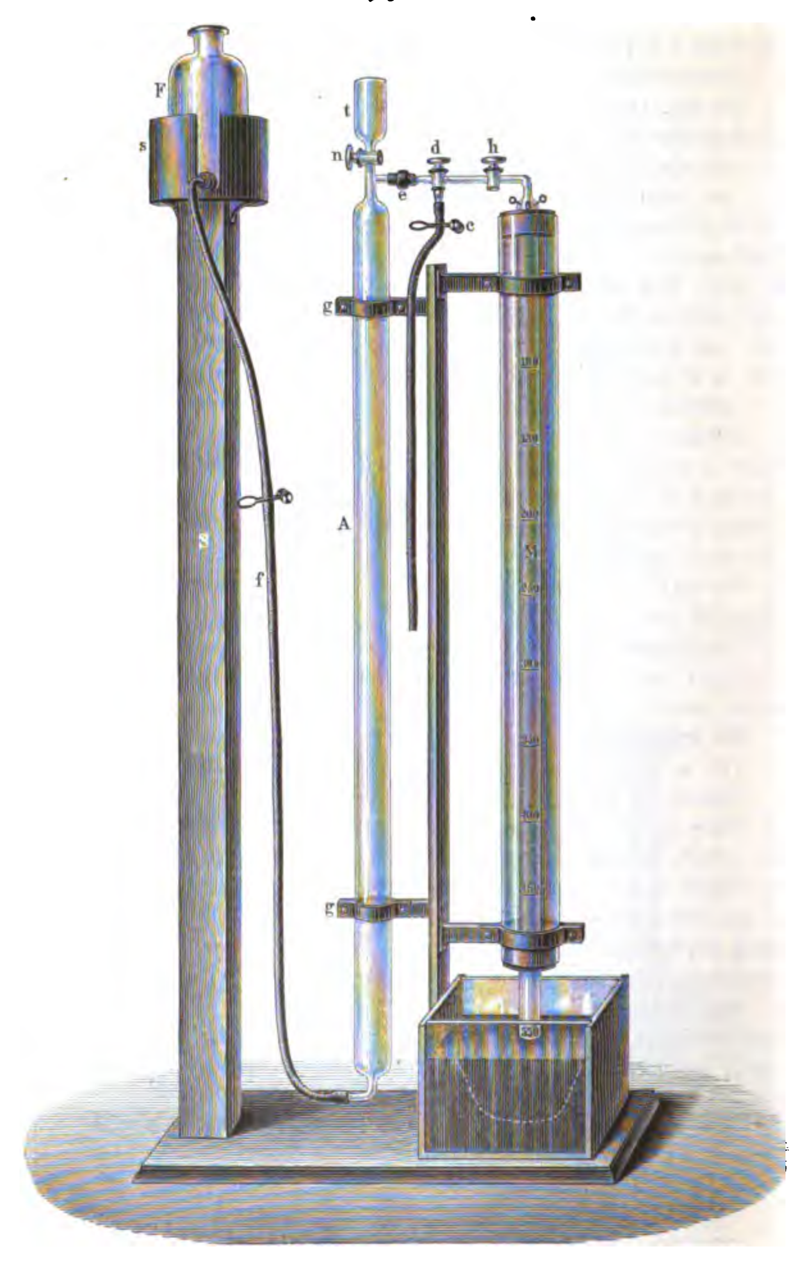
Zum Gebrauch füllt man die an zwei Seiten mit Glasplatten versehene Quecksilberwanne und die durch einen dickwandigen Gummischlauch f mit dem Rohr A verbundene Flasche F mit Quecksilber, öffnet Hahn n und setzt die Flasche

[1]) Handbuch, enthaltend Aufsätze über die exacten Wissenschaften und ihre Anwendung. (Internationale Ausstellung wissenschaftlicher Apparate im South Kensington Museum zu London 1876.) Deutsch von Rudolf Biedermann, S. 247.

[2]) Chem. N. 24, 282; Dingl. (1878) 227, *254. — [3]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1874, *18. — [4]) Liebig's Annal. 177, *145. — [5]) Dingl. pol. Journ. (1878) 227, 258; 237, *387

auf die Säule *S*, welche mit einer kleinen Schutzwand *s* versehen ist, um das Herabfallen der Flasche zu verhüten. Hat sich so das Rohr *A* mit Quecksilber

Fig. 195.



gefüllt, so schließt man Hahn *n*, öffnet *d* und *h* und senkt die Flasche *F*, so daß sich das Rohr *M* bis zum Dreiweghahn *d* mit Quecksilber füllt, worauf die beiden Hähne *d* und *h* geschlossen werden. Durch Heben der Flasche *F* und entsprechende Stellung des Hahnes *d* füllt man dann auch das Rohr *A* völlig mit Quecksilber. Nun bringt man die Glaskugel mit der Gasprobe (S. 222) in die Quecksilberwanne, bricht die beiden mit einer Feile etwas eingefeilten zugeschmolzenen Enden ab und läßt das Gas in der Bürette *M* aufsteigen. Mittels eines auf einer Eisenstange verschiebbaren Fernrohres wird dann der Stand des Quecksilbers im Rohr *M* und in der Quecksilberwanne abgelesen.

Zur Bestimmung der Kohlensäure läßt man von dem Trichter *t* aus 1 bis 2 ccm Kalilauge in das Rohr *A* treten, schließt den Hahn *n*, senkt die Flasche *F* und öffnet die Hähne *d* und *h*, so daß das Gas aus dem Rohr *M* nach *A* übergeführt wird. Ist nach wenigen Minuten die Kohlensäure gebunden, so läßt man das Gas durch Heben der Flasche *F* wieder in das Meßrohr übertreten, schließt, sobald die Kalilauge bis zum Dreiweghahn *d* tritt, beide Hähne *d* und *h* und liest den Quecksilberstand wie vorhin ab. Die Bestimmung des Sauerstoffes wird in gleicher Weise mit pyrogallussaurem Kalium ausgeführt.

Enthält das von Kohlensäure und Sauerstoff befreite Gas außer Stickstoff Kohlenoxyd, Wasserstoff und Grubengas, so läßt man in der Meßröhre etwa das gleiche Volumen, liegen nur oder fast nur brennbare, namentlich an Wasserstoff reiche Gase vor, das 2- bis 3fache Volumen Sauerstoff aufsteigen, um die Heftigkeit der Explosion zu mäßigen, da anderenfalls der Apparat zerschmettert werden kann (vergl. S. 254). Nun schiebt man unter das Rohr *M* ein Platinblech, um das Herausschleudern des Quecksilbers zu verhüten, liest die Gasmenge ab, läßt zwischen den Platindrähten einen Funken überspringen und bestimmt nach einigen Minuten die Volumabnahme. Dann bestimmt man durch Ueberführen des Gases in das Rohr *A* die gebildete Kohlensäure und untersucht mittels pyrogallussaurem Kalium oder Wasserstoff die Reinheit des überschlüssigen Sauerstoffes.

Man füllt nun den Trichter *t* mit Wasser, öffnet Hahn *n*, senkt die Flasche *F*, damit das Wasser in dem Rohr *A* heruntersinkt, stellt dann den Dreiweghahn *d* so, daß beim Heben der Flasche *F* das Wasser durch einen über die Verlängerung des Hahnes *d* geschobenen Gummischlauch abfließt. Hat man so noch zweimal mit etwas Wasser nachgespült, so läßt man zur Reinigung der Meßröhre von dem bei der Explosion sich an den Wandungen meist absetzenden grauen Anflug bei entsprechender Stellung der Hähne *d* und *h* auch etwas Wasser in das Rohr *M* übertreten, saugt dieses nach *A* zurück und treibt es dann ebenfalls durch den Hahn *d* heraus, worauf man den Quetschhahn *c* schließt. Man kann nun sofort die nächste Gasprobe im Meßrohre aufsteigen lassen.

Da die Wandungen des Meßrohres immer feucht sind, so werden die Gase mit Feuchtigkeit gesättigt gemessen. Die Berechnung des abgelesenen Volums geschieht nach S. 189. Bei der Analyse des einer Zinkröhre kurz vor Beginn der Destillation entnommenen Gases wurden z. B. folgende Zahlenangaben erhalten:

	v	$(B—b—e)$	t	V
Anfängliches Gasvolumen . . .	284,0	461,6	21,0	121,74
Nach Absorption von CO_2 . . .	255,7	432,8	21,0	102,77
Nach Zulaß von Sauerstoff . . .	405,3	584,9	20,9	220,21
Nach der Explosion	268,4	444,4	21,9	110,42
Nach Absorption von CO_2 . . .	178,2	353,5	21,4	58,42

Somit, da das überschüssige Gas fast reiner Sauerstoff war:

Kohlendioxyd	18,97 Vol.
Stickstoff	Spur
Contraction (n)	109,79
Gebildetes Kohlendioxyd (k) . .	52,00

Nun geben nach der Gleichung $CO + O = CO_2$ 2 Vol. Kohlenoxyd mit 1 Vol. Sauerstoff 2 Vol. Kohlendioxyd, somit eine Contraction von $^1/_2$, nach $CH_4 + 4O = CO_2 + 2H_2O$ 2 Vol. Methan mit 4 Vol. Sauerstoff 2 Vol. Kohlendioxyd, somit eine Contraction von 2 und nach $H_2 + O = H_2O$ giebt Wasserstoff eine Contraction von $^3/_2$. Die drei Gase geben sonach eine Contraction von $^1/_2 c$, $2m$ und $^3/_2 w$, die Gesammtcontraction n ist gleich der Summe der einzelnen Verdichtungen oder: $n = {}^1/_2 c + 2m + {}^3/_2 w$.

Ferner ist die Menge des gebildeten Kohlendioxydes $k = c + m$ und das Gesammtvolumen $V = c + m + w$, folglich die Menge von:

Wasserstoff $w = V - k$
Kohlenoxyd $c = {}^1/_3 k + V - {}^2/_3 n$
Methan $m = {}^2/_3 k - V + {}^2/_3 n$.

Die Zusammensetzung des Gases ist demnach:

Kohlendioxyd	18,97 Vol.	15,58 Proc.
Kohlenoxyd	46,91	38,52
Methan (Sumpfgas) . . .	5,08	4,17
Wasserstoff (102,77—52) . .	50,77	41,70
Stickstoff	Spur	Spur.

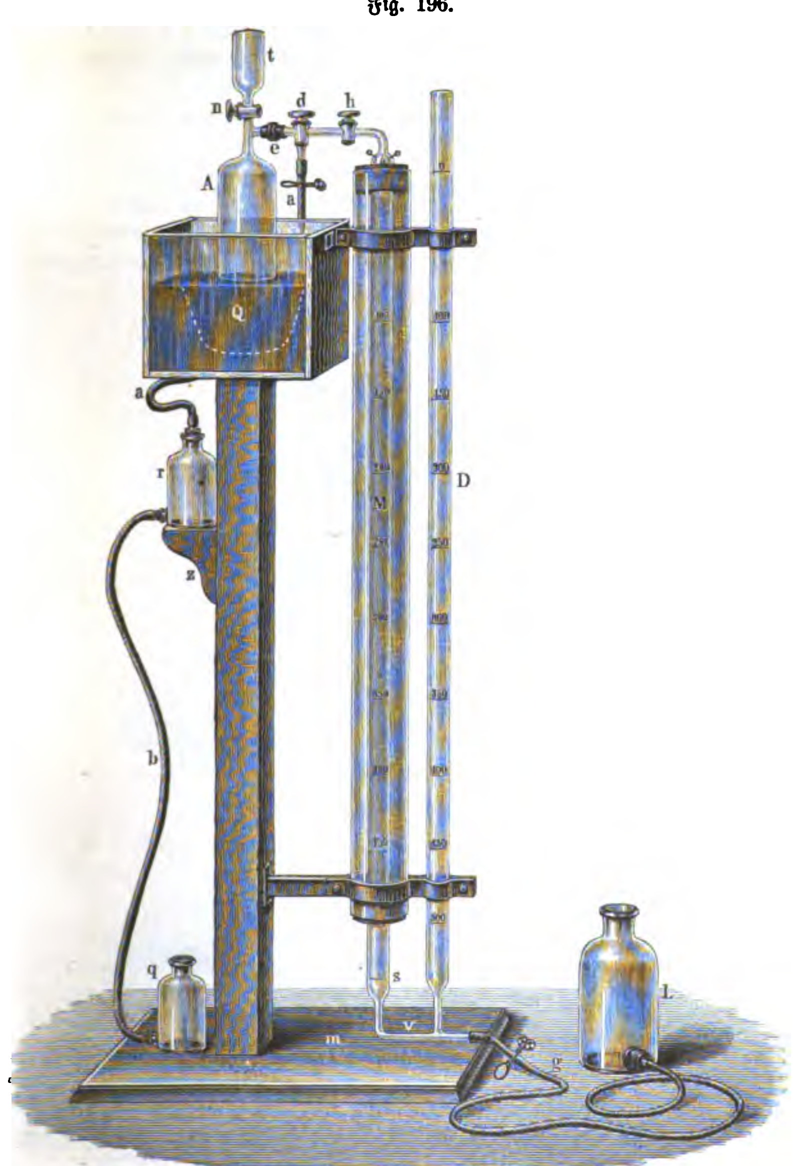
Man arbeitet mit diesem Apparat rasch und sicher, doch ist besonders darauf zu sehen, daß die Hähne d und h gut eingeschliffen sind und absolut dicht halten; n ist leichter dicht zu halten, weil über demselben sich fortwährend Flüssigkeit befindet. Als Hahnschmiere ist ein Gemisch von Vaseline mit etwas Paraffin zu empfehlen.

Um gleichzeitig feste Absorptionsmittel verwenden zu können, verwende ich[1]) namentlich den in Fig. 196 ebenfalls in $^1/_5$ nat. Gr. dargestellten Apparat, bei welchem den Frankland'schen (S. 232) entsprechend das Arbeitsrohr A offen, das Meßrohr M aber geschlossen ist. Die Verbindung der dickwandigen Capillarröhren bei e geschieht wie beim vorigen Apparat mittels eines Gummischlauches, welcher dann noch mit fettem Copallack völlig überzogen wird. Um das Meßrohr mit Quecksilber genau ausmessen zu können (S. 187) ist es bei s abgesprengt, dann aber durch übergeschobenen Gummischlauch und umgelegte Messinghülse an dem Verbindungsstück v befestigt, welches zu dem offenen Quecksilberstandrohr D und mittels eines starken Gummischlauches g zu einer Queck-

[1]) Wagner's Jahresbericht 1880, S. *934.

silberflasche *L* führt. Das Verbindungsstück *v* wird dann noch in passender Weise auf der Bodenplatte *m* befestigt.

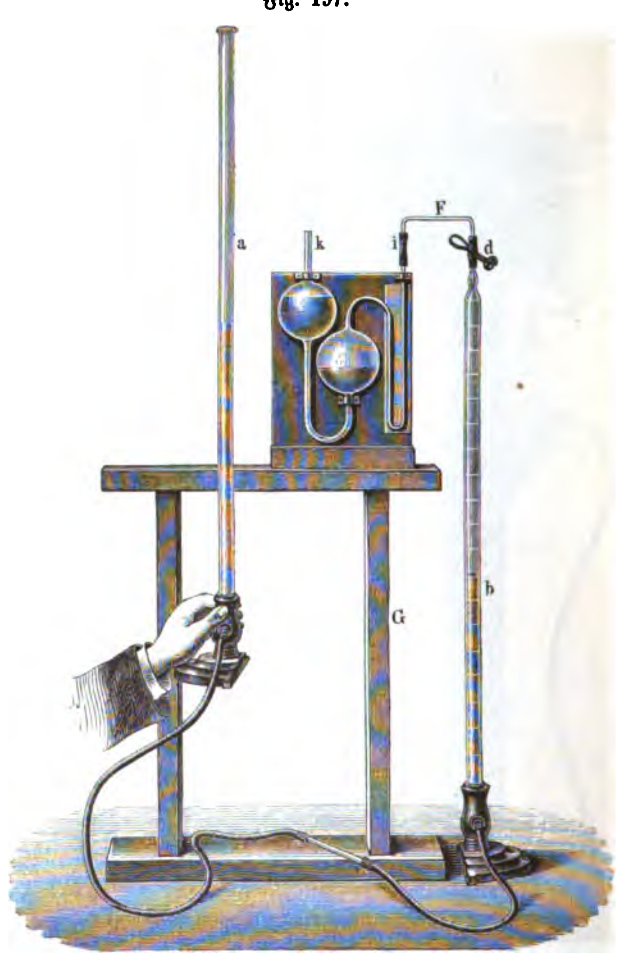
Fig. 196.



Zur Ausführung der Analyse füllt man durch Heben der Quecksilberflasche die Rohre *M* und *D*, dann durch Senken die Arbeitsglocke *A* und schließlich bei

entsprechender Stellung des Dreiweghahnes *d* das Meßrohr *M* völlig mit Quecksilber. Nun läßt man das Gas in *A* aufsteigen, saugt es in das Eudiometer *M* und bestimmt die Quecksilberstände der beiden Rohre *M* und *D*. Die Absorption geschieht in der Glocke *A*, die Verbrennung des mit Wasserstoff oder Sauerstoff gemischten und dann in das Eudiometer *m* übergeführten Gases erfolgt durch

Fig. 197.



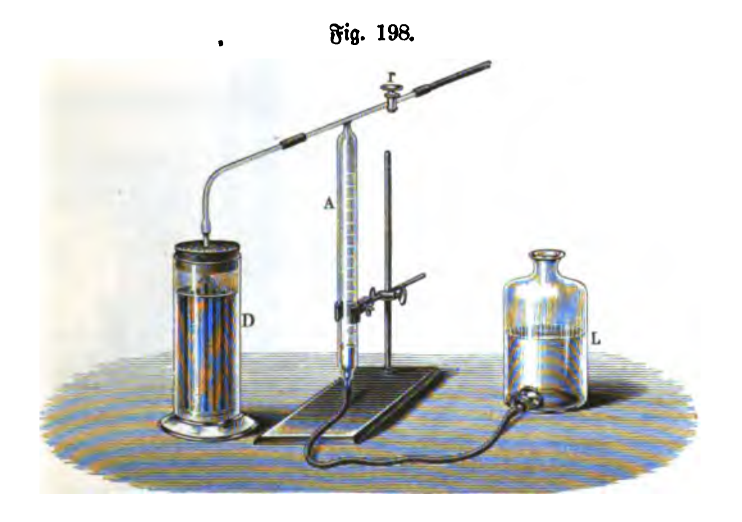
zwischen den eingeschmolzenen Platindrähten überspringende Inductionsfunken. Die Reinigung des Apparates wird mit Hülfe der Fläschchen *r q*, oder auch einer Wasserstrahlpumpe in der S. 195 und 237 erläuterten Weise ausgeführt.

Der Apparat hat den großen Vorzug, daß alle Messungen zwei oder mehrmal unter verschiedenen Drucken gemacht werden können, wodurch etwaige Fehler in der Calibrirung und Ablesung ausgeglichen werden. Außerdem sind die Hähne

der geringeren Spannungen gegen die Atmosphäre wegen leichter dicht zu halten, als beim vorigen Apparat.

Weniger genau ist die von Doyère[1]), Egleston[2]) und Hempel[3]) weiter ausgeführte Benutzung der Ettling'schen Gaspipette. Die auf der Holzbank *G* (Fig. 197) stehende Pipette wird durch das Rohr *F* mit der abgeänderten Winkler'schen Bürette *ab* verbunden. Oeffnet man den Quetschhahn *d* und hebt das Standrohr *a*, so strömt das zu untersuchende Gas durch das Verbindungsrohr in die Absorptionspipette, wobei die kleine Luftblase, welche etwa beim Einstecken der Röhre *F* in das Schlauchstück *i* eingeschlossen worden ist, durch das in *F* befindliche Wasser beim Beginn des Uebertreibens von dem zu untersuchenden Gasgemisch abgeschlossen wird. Nimmt diese Blase in der Capillarröhre der Pipette nicht mehr als 5 bis 10 mm Raum ein, so kann sie vernachlässigt werden.

Fig. 198.



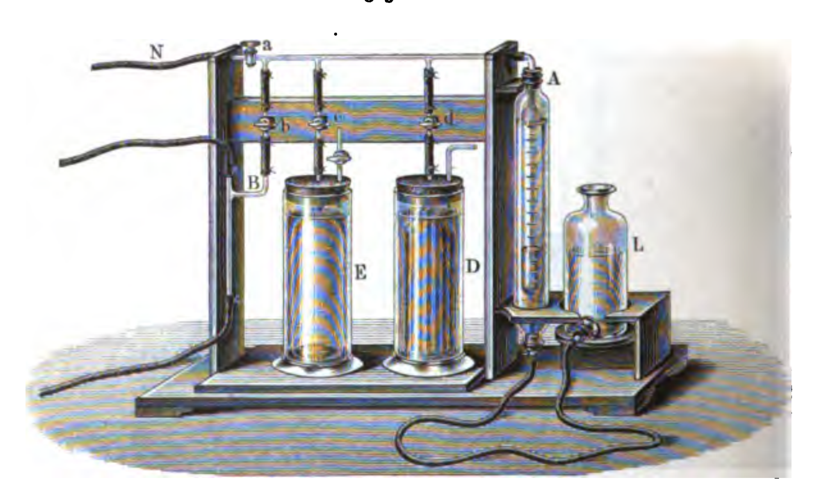
Ist die Luftblase größer, so treibt man durch Senken der Standröhre das Gas vollständig in die Bürette zurück und wiederholt die Operation. Ist das Gas in die Absorptionspipette übergeströmt, so läßt man noch etwa 0,5 ccm Wasser nachtreten, wodurch das Capillarrohr ausgespült und von dem vorher darin enthaltenen Absorptionsmittel hinlänglich befreit wird. Hierauf löst man, nachdem die Bürette mittelst des Quetschhahnes geschlossen ist, die Verbindung mit derselben und bringt durch etwa zwei Minuten andauerndes Schütteln der Pipette das Gas zur Absorption. Dann verbindet man Bürette und Pipette wieder und läßt, indem man das Standrohr *a* auf den Fußboden stellt, das Gas in die Bürette zurückströmen, wobei man Bedacht hat, daß das Absorptionsmittel nur bis in die Verbindungscapillare *F* bringt. Ist dies geschehen, so schließt man den Quetsch-

[1]) Annal. chim. phys. 28, *1; Fehling, Handwörterbuch der Chemie. Bd. 1. S. *512. — [2]) The metallurg. Rev. (1878) 2, *53. — [3]) Hempel, Analyse der Gase. 1880, S. *24.

hahn, entfernt die Pipette und liest das Volumen des rückständigen Gases ab. Für jedes Absorptionsmittel verwendet man eine besondere Pipette.

Schlösing und Rolland[1]) füllen in bekannter Weise durch Senken und Heben der Flasche L das Meßrohr A (Fig. 198, a. v. S.) mit Wasser bis zur Marke und das unten offene Arbeitsrohr D, welches in einem mit Kalilauge gefüllten Glascylinder mit Fuß befestigt ist, mit dieser Lösung. Nun wird der Hahn r geöffnet, das auf Kohlensäure zu untersuchende Gas durch Senken von L nach A angesaugt und nach dem Schließen von r durch Heben von L nach D hinüber getrieben. Zur Beschleunigung der Absorption ist D mit Glasröhren angefüllt, so daß das eintretende Gas eine große, mit Kalilösung befeuchtete Fläche trifft. Nach geschehener Absorption wird das Gas nach A zurückgesaugt und gemessen.

Fig. 199.



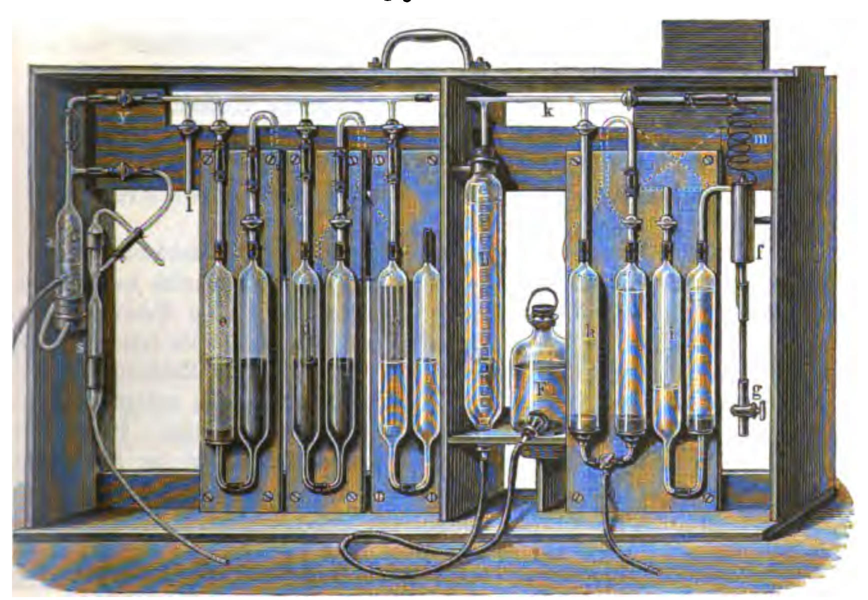
Orsat[2]) verbesserte diesen Apparat durch Anbringen einer mit Kupferdrahtgewebe und einer Lösung von Salmiak und Ammoniak gefüllten zweiten Arbeitsglocke E (Fig 199) zur Absorption des Kohlenoxydes. Nachdem das mit einem Wassermantel (wie bei Regnault) umgebene Meßrohr A und die beiden Absorptionsglocken D und E mittels der Wasserflasche L bis zur Marke gefüllt sind, öffnet man die Hähne a und b, saugt mittels des kleinen Luftstrahlgebläses B das zu untersuchende Gas an, um den Schlauch N völlig damit anzufüllen, schließt b, saugt durch Senken von L 50 ccm des Gases nach A und schließt a. Nun wird d geöffnet und das Gas zur Absorption der Kohlensäure nach D getrieben, nach A zurückgesaugt und, nachdem d geschlossen ist, gemessen. In gleicher Weise wird das Gas nach Oeffnen des Hahnes c nach E getrieben und nach Absorption des Kohlenoxydes in A gemessen.

---

[1]) Annal. chim. phys. (1868) 14, *55. — [2]) Engineering Mining journ. (1874) 18, *49.

Zur Untersuchung der auch Sauerstoff enthaltenden gewöhnlichen Rauchgase hat Orsat [1]) den in Fig. 200 abgebildeten Apparat angegeben [2]). Das Gas wird auch hier mittels der kleinen Strahlpumpe *s* durch das zum Zurückhalten des Rußes mit Baumwolle gefüllte Rohr *a* angesaugt. Zur Absorption der Kohlensäure wird das nach *b* gesogene Gas in den mit *c* bezeichneten Schenkel des ersten U-Rohres getrieben, so daß die verdrängte Kalilauge in dem anderen Schenkel aufsteigt. Nach Entfernung der Kohlensäure wird das Gas in *b* gemessen und zur Absorption des Sauerstoffes in das mit pyrogallussaurem Kali gefüllte Rohr *d* und schließlich zur Bestimmung des Kohlenoxydes nach *e* getrieben. Der zurückbleibende Stickstoff wird nach beendeter Analyse durch den Hahn *l* abgelassen. Damit die Lösungen in *d* und *e* nicht durch den atmosphärischen Sauerstoff verderben, sind sie durch schlaffe Kautschukballons abgeschlossen.

Fig. 200.



Zur Bestimmung des Wasserstoffes und der Kohlenwasserstoffe schlägt Orsat [3]) folgende Ergänzung seines Apparates vor. Von der Meßröhre *b* (Fig. 200) geht das Gas durch eine Hilfsleitung *k* nach einer kleinen, senkrechten Platinspirale *m*, welche mittels der Gaslampe *f g* erhitzt wird und deren anderes Ende mit dem U-Rohre *i* in Verbindung steht. Vor dem auf der Röhre *k* angebrachten Hahn befindet sich eine Abzweigung, welche mit einer zweiten U-förmigen Röhre *h* in Verbindung steht, die eine Zinkplatte und verdünnte Schwefel-

[1]) Annal. des mines (1875) 8, *485. — [2]) Der Theil rechts von der Flasche *L* fehlt bei den gewöhnlichen Apparaten. — [3]) Annal. des mines 1875, S. 501. Bullet. Soc. d'Encouragem. (1880), 7, *295; Dingl. 1878, 227, *260.

säure enthält. Der entwickelte Wasserstoff drückt die Säure nach dem andern Schenkel, so daß beim Oeffnen des Hahnes immer reiner Wasserstoff austritt. Zur Ausführung der Analyse bestimmt man in 200 Theilstrichen Gas, Kohlensäure, Sauerstoff und Kohlenoxyd genau so, wie oben angegeben wurde. Von dem aus Stickstoff, Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff bestehenden, nicht absorbirbaren Rest nimmt man 40 bis 50 Theilstriche und bringt den Rest des überschüssigen Gases in der Röhre *d* mit Pyrogallussäure unter, welche demnach als Vorrathsbehälter dient und nöthigenfalls eine zweite Analyse als Controle der ersten ermöglicht. Hierzu fügt man 10 bis 15 Theilstriche reinen Wasserstoff, je nach der wahrscheinlichen Menge der Kohlenwasserstoffe, und schließlich 130 bis 140 Theilstriche atmosphärische Luft, welche man durch den Hahn *l* einführt. Man läßt hierauf das Gasgemenge langsam durch die glühende Spirale streichen, indem man das Mitreißen von Feuchtigkeit in die Spirale sorgfältig vermeidet, was leicht den Bruch der Glasröhre herbeiführen könnte. Sodann kühlt man das Gas ab und liest die vorgegangene Contraction ab. Im verbrannten Gas bestimmt man alsdann die Kohlensäure in *c* und den übrigen Sauerstoff in der Kupferchlorür-Röhre *e*. Bemerkt man, daß nach der Verbrennung kein Sauerstoff übrig bleibt, so ist dies ein Zeichen, daß die Verbrennung nicht vollständig war. Man kann in diesem Falle noch mehr Luft und Wasserstoff hinzufügen und eine neue Verbrennung machen; doch ist es vorzuziehen, eine neue Analyse mit dem in *d* gehaltenen Rückstande durchzuführen.

Die durch diese Verbrennung erzeugte Kohlensäure wird unmittelbar erhalten. Der erzeugte Wasserdampf läßt sich einfach berechnen. Ist nämlich das Volum der eingeführten Luft p Theilstriche, so entspricht dies 0,21 p Sauerstoff und 0,79 p Stickstoff. Nun hat der Sauerstoff dazu gedient: 1) den dem Gemenge beigefügten Wasserstoff zu verbrennen; 2) den Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe zu verbrennen; 3) den Kohlenstoff der gleichen Bestandtheile zu verbrennen; der überschüssige Rest verbleibt in dem schließlich erhaltenen Gemenge. Von diesen 4 Mengen Sauerstoff ergeben sich drei unmittelbar dadurch, daß der zugegebene Wasserstoff die Hälfte seines Volums an Sauerstoff gebraucht, und daß andererseits der Kohlenstoff bei seiner Umwandlung in Kohlensäure so viel Sauerstoff beansprucht hat, als dem Volum der erzeugten und bestimmten Kohlensäure gleich kommt; der übrig bleibende freie Sauerstoff wurde schließlich als solcher bestimmt. Man kennt somit den Sauerstoff, der zur Verbrennung des Wasserstoffes der Kohlenwasserstoffe gedient hat, und da dieser Sauerstoff ein Volum Wasserdampf geliefert hat, das doppelt so groß ist als sein eigenes, so ist es einfach, den Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe dem Volum und Gewichte nach zu berechnen. Schließlich kann man noch das Gesammtvolum der Kohlenwasserstoff-Verbindungen erhalten; nach allen Verbrennungen und Absorptionen enthält nämlich die Meßröhre bloß noch Stickstoff, der von zwei Quellen herrühren kann: dem wirklichen Stickstoff des analysirten Gases und dem Stickstoff der eingeführten Luft $= 0{,}79\,p$. Die Differenz ergiebt das Stickstoffvolum des analysirten Gases, und da das Volum des Stickstoffes sammt den Kohlenwasserstoffen vor der Verbrennung bekannt war, so ergiebt die Differenz das Volum der letzteren. Als Beispiel führt Orsat folgende Analyse eines Generatorgases an:

	Theilstriche		Proc.
Zur Untersuchung verwendet	200		
Nach Absorption durch Kali	188	folgl. 12,0 CO_2	= 6,0
Desgl. durch Pyrogallus	188	„ 0 O	= —
Desgl. durch Kupferchlorür	145	„ 43,0 CO	= 21,5
Von dem Rest verwendet	50		
Wasserstoff	10		
Luft (29 Thle. O, 111 Thle. N)	140		
	200		

	Theilstriche	
Nach der Verbrennung	177	
Nach Absorption durch Kali	175,5	folgl. 1,5 CO_2
Desgl. durch Kupferchlorür	158	„ 17,5 freier O

Zur Verbrennung von 10 freien H verbrauchter Sauerstoff	5,0
Desgl. für den Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe	5,0
Summe des Sauerstoffes	29,0
Ferner: eingeführter Stickstoff	111,0
Stickstoff des untersuchten Gases	47,0
	158,0

Daraus berechnet sich folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure	6,00
Kohlenoxyd	21,50
Sauerstoff	—
Kohlenwasserstoff	4,35
Stickstoff	68,15
	100,00

Diese Berechnung zeigt hinlänglich, daß die Ablesungsfehler und die in Folge der glühenden Platinröhre unvermeidlichen Versuchsfehler nach dieser Methode viel zu groß sind, so daß eine derartige Analyse meist werthlos ist.

Salleron[1]) und Aron[2]) lassen die Absorptionsrohre in die Vorrathsgefäße eintauchen, und verwenden statt des Strahlgebläses *B* einen Gummisauger. Die statt der Glashähne verwendeten Hähne aus Zinn oder Rothguß kann ich nicht empfehlen, da Metallrohre weniger leicht zu reinigen und der vielen Verbindungen wegen schwieriger dicht zu halten sind als das Hahnrohr aus Glas (Fig. 203, S. 248); außerdem klemmen sich Zinnhähne leicht fest. Alberti und Hempel[3]) verwenden denselben Apparat, saugen aber das Gas durch Chlorcalcium an und verwenden als Sperrflüssigkeit im Meßrohr Glycerin; derartig ausgeführte Analysen mußten selbstverständlich falsch werden, da die Spannkraft der Lösungen nicht berücksichtigt ist (vgl. S. 134). Der ähnliche Apparat von Schwackhöfer[4]) ist theuer und schwerfälliger, besser ist der von Müncke[5]), während der kreisförmig angeordnete

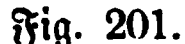
---

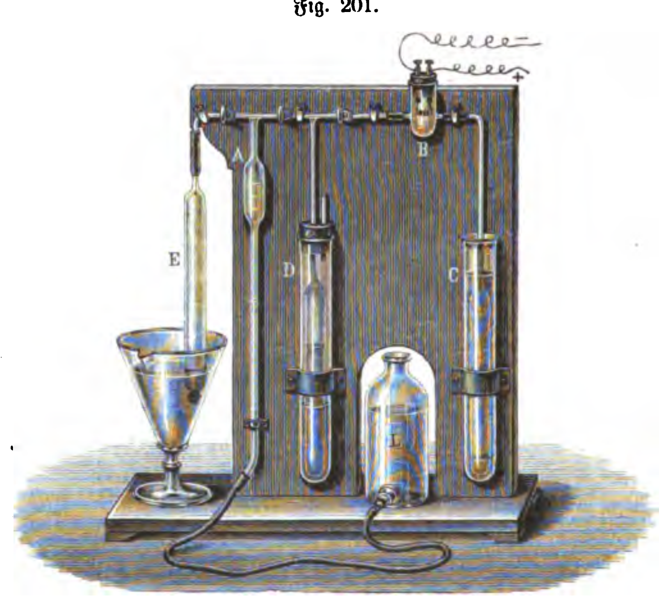
[1]) Winkler: Industriegase S. *166. — [2]) Dingl. (1875) 217, *220. — [3]) Dingl. (1878) **228**, *439. — [4]) Wochenschr. d. österr. Ing. Arch. Ver. 1877, *298; Dingl. (1878) **227**, 257. — [5]) Dingl. (1877) **225**, *557.

von Kasalovsky [1]) der vielen Gummiverbindungen wegen und der von Tomson [2]) seiner übermäßigen Kleinheit wegen bedenklich erscheinen.

Nach Coquillion [3]) wird das im Rohr *E* (Fig. 201) aufgefangene Gas mittels der Flasche *L* in das Meßrohr *A* gesaugt, dann in ein oder mehrere Absorptionsgefäße *D*, schließlich wie bei Orsat mit Luft gemischt über den glühenden Palladiumdraht in *B* nach *C* getrieben und nach vollzogener Verbrennung der Wasserstoffe nach *A* zurückgesaugt.

O. Lindemann [4]) saugt das Gas durch *e* (Fig. 202) in das Meßrohr *B*, treibt es in das, zur Bestimmung von Sauerstoff mit Phosphorstangen gefüllte, in die Wasserflasche *D* tauchende Absorptionsrohr *A* und schließlich zur Messung nach *B* zurück.


Fig. 201.



Seit 1876 verwendet Verf. den in Fig. 203 a. S. 248 dargestellten Apparat und kann ihn, nachdem er damit mehrere Tausend Rauchgasanalysen ausgeführt hat, als praktisch völlig bewährt bezeichnen.

Der untere, 45 ccm fassende Theil der zum Messen des zu untersuchenden Gases bestimmten Bürette *A*, welche zur Abhaltung von Temperaturschwankungen von einem weiten Cylinder mit Wasser eingeschlossen wird, ist in Zehntel, der obere in ganze Cubikcentimeter eingetheilt. Das dickwandige gläserne Capillarrohr

---

[1]) Oesterreich. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1878, 407; Dingl. (1879) **230**, *480; **231**, 560. — [2]) Dingl. (1881) **240**, *374. — [3]) Engineering, **24**, *317; Compt. rend. **85**, 1106; Dingl. (1878) **227**, 262. — [4]) Zeitschr. anal. Chem. 1879, S. *158; Dingl. pol. Journ. (1879) **232**, S. *332.

ist an beiden Enden festgelegt, bei *i* in einem Ausschnitte der Scheidewand und bei *o* durch eine kleine, an der Decke des Kastens befindliche Stütze. Die vier Glashähne schließen sicher dicht und klemmen sich bei nur einigermaßen verständiger Behandlung nie fest. Das Hahnrohr ist am vordern Ende umgebogen und mit dem U-Rohr *B* verbunden, dessen Schenkel Baumwolle enthalten, während sich in der untern Biegung Wasser befindet, um allen Ruß und Staub zurückzuhalten und das angesaugte Gas sicher mit Feuchtigkeit zu sättigen, bevor es zur Messung gelangt. Das nach hinten gerichtete Ende des Dreiweghahnes *c* ist durch einen Gummischlauch *a* mit dem Gummiaspirator *C* verbunden, durch welchen es leicht gelingt, das Gaszuführungsrohr und *B* mit dem zu untersuchenden Rauchgase zu füllen. Die Absorption geschieht in den unten in Einschnitte festgelegten U-förmigen Gefäßen *D*, *E* und *F*, welche durch kurze Kautschukschläuche mit dem Hahnrohre verbunden und zur Vergrößerung der Absorptionsfläche mit Glasröhren angefüllt sind. Da die Marke *m* sich über dieser Verbindungsstelle befindet, so ist diese stets mit der betreffenden Flüssigkeit benetzt und so leicht vollkommen dicht zu halten. Das andere Ende des U-Rohres ist mit einem Kautschukstopfen geschlossen, welcher ein Glasröhrchen *x* enthält; die Röhrchen sind mit einem gemeinschaftlichen, etwa 200 ccm fassenden schlaffen Gummiballon *G*, zur Abhaltung des atmosphärischen Sauerstoffs, verbunden. Durch diese Anordnung ist es möglich geworden, den ganzen Apparat auf 50 cm Höhe und 25 cm Breite zu beschränken, während andere, für gleichen Zweck bestimmte Apparate die doppelte Größe haben. Beim Transport werden die erforderlichen Kautschukschläuche neben die, in den Klotz *l* gesetzte Flasche *L* gepackt, die Auffangröhre aus Glas oder Porzellan, sowie ein langes Quecksilberthermometer hinter der Bürette *A* befestigt und die beiden Schiebethüren eingesetzt, so daß der Apparat dann nach Außen völlig abgeschlossen ist.

Fig. 202.



Soll der Apparat gebraucht werden, so füllt man zunächst den die Bürette *A* umgebenden Cylinder, sowie auch die Flasche *L* mit destillirtem Wasser. Zur Füllung der drei Absorptionsflaschen nimmt man die Stopfen mit den Glasröhren *x* und Gummibeutel *G* ab und gießt in das Gefäß *D* etwa 110 ccm Kalilauge von 1,26 bis 1,28 specif. Gew., so daß dasselbe etwas über halb damit angefüllt wird. Ferner löst man 18 g Pyrogallussäure in 40 ccm heißen Wassers, fügt 70 ccm der obigen Kalilauge hinzu und gießt das Gemisch in das zweite Gefäß *E* zum Lösen des Sauer-

stoffes[1]). Zur Bestimmung des Kohlenoxydes bringt man 35 g Kupferchlorid mit 200 ccm concentrirter Salzsäure und etwa 50 g Kupferblechschnitten in eine gut

Fig. 203.

[1]) Nach Weyl (Liebig's Ann. 205, 255) wird Sauerstoff am schnellsten von 1 g Pyrogallol in 40 ccm Kalilauge von 1,05 specif. Gew. gelöst. Für obigen Zweck würde aber diese Lösung zu oft erneuert werden müssen.

schließende Flasche, läßt unter häufigem Umschütteln etwa 1 Tag stehen, setzt 100 ccm Wasser hinzu, um dann von der erhaltenen Lösung das Gefäß *F* zu füllen. Man schließt die drei Glashähne, stellt den Hahn *c* wagerecht und hebt die Flasche *L*, so daß das Wasser die Bürette *A* füllt, giebt dem Hahn *c* eine Vierteldrehung nach links, so daß die zweite Durchbohrung zum Rohr *B* führt, öffnet den Hahn des Gefäßes *D*, senkt die Flasche *L* und öffnet vorsichtig den auf den Schlauch *s* gesetzten Quetschhahn, so daß die Kalilauge bis zur Marke *m* aufsteigt, worauf der Hahn geschlossen wird. In gleicher Weise werden auch die Flüssigkeiten der beiden anderen Gefäße bis zur Marke *m* aufgesaugt, wobei das Auge stets auf die aufsteigende Flüssigkeit gerichtet ist[1]. Dann werden die drei Stopfen mit den Glasröhren *x* luftdicht aufgesetzt. In Röhre *B* bringt man zunächst etwa 1 ccm Wasser, füllt beide Schenkel mit loser Baumwolle, setzt die Stopfen wieder ein und verbindet das Röhrchen *n* mittels eines Gummischlauches mit dem Glasrohre oder Porzellanrohre, welches luftdicht in den Rauchcanal eingesetzt ist, um den Zutritt der atmosphärischen Luft zu verhüten (S. 260).

Zur Probe, ob der Apparat dicht ist, stellt man den Hahn *c* wagrecht, preßt den Schlauch unmittelbar an dem Rohr im Rauchcanal mittels Quetschhahn oder der Hand fest zu und öffnet den Quetschhahn des Schlauches *s*. Die Wassersäule in *A* sinkt etwas, muß dann aber völlig fest stehen bleiben, da ein fortgesetztes langsames Sinken irgend eine Undichtigkeit verrathen würde, die natürlich zunächst beseitigt werden muß, sei es durch besseres Ueberziehen der Schläuche, festes Eindrücken der Stopfen oder Schmieren der Glashähne mit Vaseline.

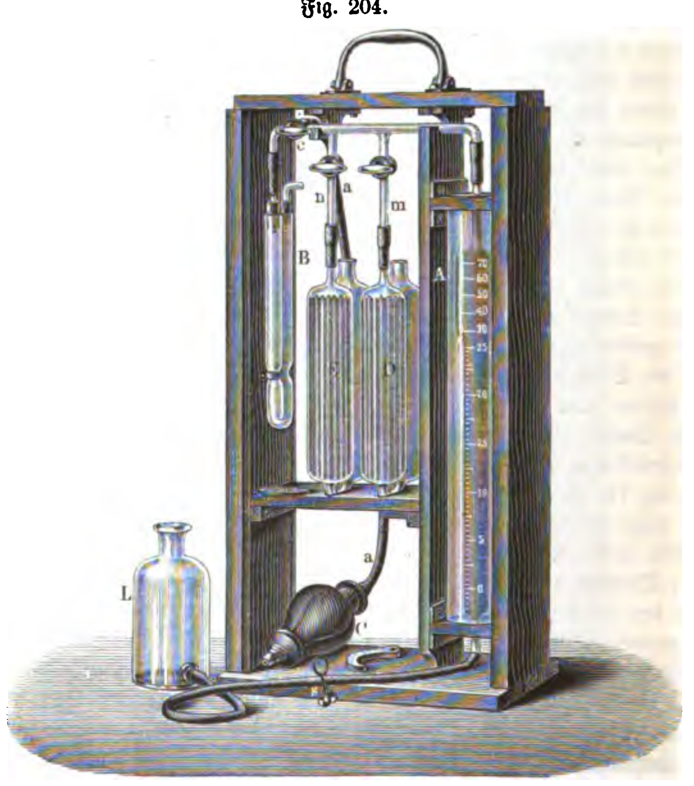
Nachdem man die Bürette *A* durch Heben der Flasche *L* bis zur Marke 100 mit Wasser gefüllt hat, stellt man den Hahn *c* so, daß die Verbindung von dem Gummisauger *C* durch das Rohr *B* mit dem Rauchcanal hergestellt ist, und saugt durch 10- bis 15-maliges Zusammenpressen von *C* so lange, bis die ganze Leitung sicher mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt ist. Dieses geschieht am bequemsten in der Art, daß man mit der linken Hand *C* zusammenpreßt, dann mit dem Daumen der rechten Hand den Röhrenansatz *r* schließt und nun durch Oeffnen der linken Hand den Ballen aufblähen läßt, den Daumen lüftet, *C* wieder zusammenpreßt u. s. w., bis der Zweck erreicht ist. Nun stellt man den Hahn *c* wieder wagerecht, öffnet den Quetschhahn von *s* und senkt die Flasche *L*, so daß sich die Bürette *A* mit dem zu untersuchenden Rauchgase bis zum Nullpunkt anfüllt, worauf *c* durch Vierteldrehung nach links wieder geschlossen wird. Das Gas ist jetzt zwischen den 4 Glashähnen und der Wassersäule in *A* eingeschlossen.

Zur Bestimmung der Kohlensäure öffnet man den Hahn von *D* und hebt *L* mit der linken Hand, so daß beim Oeffnen des Quetschhahnes auf *s* mit der rechten Hand das Gas in die Flasche *D* übertritt, senkt *L* wieder, bis die Kalilauge in *D* etwa zur Schlauchverbindung unter *m* reicht und treibt das Gas noch einmal durch Heben von *L* in das Kaligefäß. Durch Senken der Flasche *L* und vorsichtiges Oeffnen des Quetschhahnes läßt man nun die Kalilauge wieder bis zur Marke *m* aufsteigen, schließt den Glashahn, öffnet den Quetschhahn, hält die

[1] Es empfiehlt sich, diese Operation zunächst mit reinem Wasser einzuüben und erst dann die Absorptionsflüssigkeiten einzufüllen.

Flasche L so neben die Bürette, daß das Wasser in beiden Gefäßen gleich hoch steht, schließt den Quetschhahn wieder und liest endlich das zurückgebliebene Gasvolum ab. Der Stand des Sperrwassers giebt direct den Procentgehalt des untersuchten Gases an Kohlensäure. In gleicher Weise läßt man das Gas in das Gefäß E zwei- bis dreimal übertreten, bis keine Volumabnahme mehr erfolgt; die Ablesung nach der erfolgten Einstellung giebt die Menge der Kohlensäure und des Sauerstoffes zusammengenommen, während durch gleiche Behandlung des Gases in dem Gefäße F außerdem noch das Kohlenoxyd absorbirt wird.

Fig. 204.



Ist so die Analyse beendet, so stellt man den Hahn c wieder wagrecht, hebt L, öffnet den Quetschhahn und läßt das Wasser in der Bürette bis auf 100 aufsteigen, stellt c wieder senkrecht, füllt mittels C die Leitung mit dem zu untersuchenden Gase und nimmt eine neue Probe. Ist wie gewöhnlich kein Kohlenoxyd vorhanden, so kann man bei einiger Uebung alle 4 bis 5 Minuten eine bis auf Fünftelprocent genaue Analyse ausführen. Wird die Absorption nach 100 bis 200 Analysen träge, so entleert man mittels eines kleinen Hebers die Gefäße, spült mit destillirtem Wasser nach und füllt sie von Neuem mit Kalilauge, Pyrogallat und Kupferchlorür.

Sollte durch Unachtsamkeit die Absorptionsflüssigkeit in das Hahnrohr steigen, so hebt man die Flasche L, öffnet den Quetschhahn und spült so durch das destillirte Wasser die Lösung in das Gefäß zurück. Gelingt dieses nicht ganz, so zieht man den Schlauch a von Hahn c ab, giebt letzterem eine halbe Umdrehung und läßt durch Heben von L so lange Wasser durch das Hahnrohr und den Hahn c ablaufen (die übrigen sind geschlossen), bis dasselbe völlig rein ist. Wurde dabei das Sperrwasser in der Bürette unrein, so muß es erneuert werden.

Da die Rauchgase der gewöhnlichen Feuerungsanlagen nur selten Kohlenoxyd enthalten, so habe ich, um den Apparat für Reisezwecke noch bequemer zu machen, das Lösungsgefäß für Kohlenoxyd fortgelassen und die übrigen Theile etwas verkleinert, wie Fig. 204 andeutet. Der Apparat ist jetzt nur 40 cm hoch, 20 cm breit und so leicht, daß man ihn bequem selbst auf weitere Strecken in der Hand tragen kann (S. 207). Die Ausführung der Untersuchung geschieht in derselben Weise wie mit dem größeren Apparat [1]).

Ausführung der Untersuchung von Verbrennungsgasen.

Die Feuergase bestehen außer Stickstoff, welcher sich stets als Rest ergiebt, wesentlich aus Kohlensäure und Sauerstoff; Kohlenoxyd, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe finden sich in nennenswerther Menge meist nur bei mangelhafter Construction oder schlechter Wartung der Feuerungsanlage bezw. bei ungenügendem Luftzutritte. Minder wichtig sind Schwefligsäure und Schwefelsäure (vgl. S. 216), wie Verfasser durch Untersuchung der Gase aus Ultramarinöfen [2]), Dampfkesselfeuerungen [3]), Ziegelöfen [4]), Potascheöfen [5]), Sodaöfen [6]), Stubenöfen [7]), Cupolöfen [8]), Puddelöfen [9]), Locomotiven [10]), Retortenöfen [11]) u. a. gezeigt hat.

Nach **Bunsen** (S. 193) geschieht die Bestimmung der **Kohlensäure** durch eine an einen Platindraht gegossene Aetzkalikugel [12]), welche so wasserhaltig

---

[1]) Universitätsmechaniker **W. Apel** in Göttingen liefert den großen Apparat, Fig. 202, für 65 Mk., den kleinen, Fig. 203, für 45 Mk. — [2]) Dingl. Journ. **221**, 468. — [3]) Dingl. Journ. **229**, 130; **232**, 336; **242**, 40; Wagner's Jahresber. 1881, 1047. — [4]) Dingl. Journ. **228**, 432. — [5]) Dingl. Journ. **229**, 446. — [6]) Dingl. Journ. **234**, 306; Wagner's Jahresber. 1880, 274. — [7]) Dingl. Journ. **230**, 322; **233**, 133. — [8]) Dingl. Journ. **231**, 38 u. 470. — [9]) Wagner's Jahresber. 1881, 35. — [10]) Dingl. Journ. **241**, 449; Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1881, 1050. — [11]) Dingl. Journ. **232**, 527.

[12]) Zur Herstellung solcher Kugeln senkt man den mit einer kleinen Umbiegung versehenen Platindraht senkrecht in eine gewöhnliche eiserne Kugelform und gießt das geschmolzene Kali ein. Die zur Einführung saurer Kupferchlorürlösung, Schwefelsäure, pyrogallussaurem Kalium u. dergl. erforderlichen Kokskugeln werden aus einem fein pulverisirten Gemenge von ungefähr 1 Thl. fetter, **möglichst schwefelkiesfreier** Steinkohle und 2 Thln. Koks angefertigt. Man schüttet diese Masse um den Platindraht in die noch mit ihrem Eingußcanal versehene Kugelform und erhitzt die letztere **langsam** bis zum stärkeren Rothglühen. Wird die Masse zu porös oder noch nicht hinlänglich fest, so tränkt man die zuvor über 100° erhitzte Kugel mit concentrirtem Zuckersyrup oder mit Steinkohlentheer und glüht sie darauf in der offenen Flamme einer

ist, daß sie noch Eindrücke vom Nagel annimmt, und die man zuvor an der Oberfläche mit etwas Wasser befeuchtet.

Hat man in Gasgemengen neben Kohlensäure noch Sauerstoff und Stickstoff zu ermitteln, so wird die erstere im Absorptionsrohre bestimmt und das rückständige Gasgemenge in ein Verbrennungseudiometer übergefüllt, um die Verpuffung mit Wasserstoff in einem Raume vornehmen zu können, dessen Wände nicht mit Aetzkali beschmutzt sind, da durch dessen Gegenwart die Spannkraft des Wasserdampfes im feucht gemessenen Gase verändert werden würde. Gebieten es die Umstände, die Versuche in einem und demselben Eudiometer auszuführen, so kann man den Sauerstoff durch Papier- oder Kokskugeln mit pyrogallussaurem Kali nach Absorption der Kohlensäure bestimmen (S. 193). Dann aber ist es unumgänglich nothwendig, das rückständige Stickstoffvolumen durch eine Kalikugel noch vor der Ablesung zu trocknen [1]).

Enthält das zu untersuchende Gas nach Absorption der Kohlensäure so wenig Sauerstoff, daß nach Zulassung von Wasserstoff (S. 192) auf 100 Thle. nicht brennbares Gas weniger als 25 Thle. brennbares Gas kommen, so findet oft nur eine ungenügende oder gar keine Verbrennung beim Durchschlagen des Funkens statt. Man läßt dann so viel Knallgas zutreten, daß dieser Grenzwerth erreicht wird. Verbindet man nach Bunsen zu diesem Zwecke die in zehnfach verdünnte Schwefelsäure eintauchenden Platinplatten *a* (Fig. 205) durch die Platindrähte *b* mit den Polen einer galvanischen Batterie, so erhält man einen gleichmäßigen Strom von Knallgas. Nachdem die Gasentwicklung einige Minuten gedauert hat, um alle Luft auszutreiben und die verdünnte Schwefelsäure mit Wasserstoff und Sauerstoff zu sättigen, wird eine entsprechende Menge Knallgas durch bei *d* eingeführte Schwefelsäure getrocknet oder durch Wasser gewaschen in das Eudiometer eingeführt, und verschwindet hier bei der Verbrennung

---

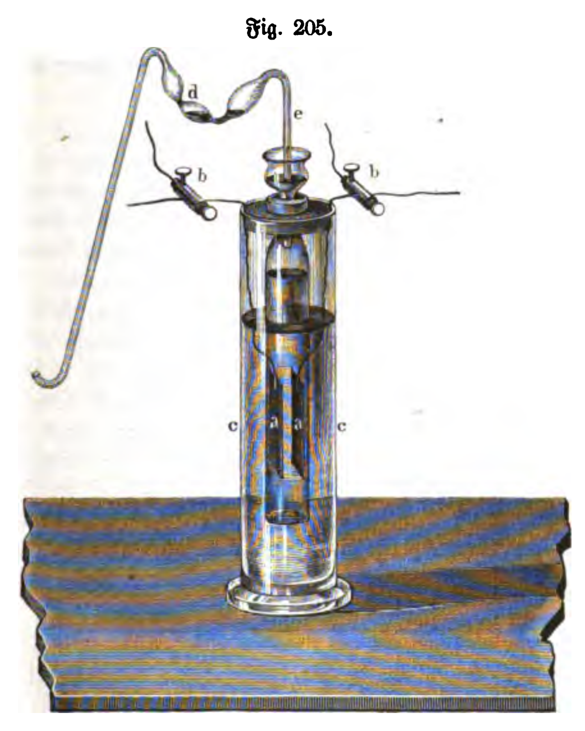
Glasbläserlampe noch einmal stark aus. Vor dem Gebrauche müssen solche Kugeln mit Säure ausgezogen werden, um die darin möglicherweise vorhandenen Metalle und Schwefelmetalle zu entfernen. Statt der Koksmasse ist es oft vortheilhaft, Papiermaché anzuwenden, das man aus Löschpapier bereitet und um den Platindraht in eine noch mit Eingußcanal versehene Kugelform stampft oder preßt; Gypskugeln lassen sich ebenfalls anwenden.

[1]) Obgleich das ganze Volumen solcher Kugeln gewöhnlich kaum mehr als einen Theilstrich der Absorptionsröhre einzunehmen braucht, so kann doch die an der Oberfläche haftende atmosphärische Luft leicht einen Fehler von 0,05 bis 0,1 Theilstrichen zur Folge haben. Um diesen übrigens schon verschwindend kleinen Fehler noch mehr zu verringern, taucht man die zuvor befeuchtete, zwischen Zeigefinger, Daumen und Mittelfinger gehaltene Kugel unter das Quecksilber, streift die Luft mit den Fingern nach dem Drahte hin ab und läßt diesen zwischen Daumen und Zeigefinger emporgleiten, bis die Kugel unter dem Quecksilber an der Wandung des Absorptionsrohres zum Vorschein kommt. Erscheint sie nur an einem Pünktchen sichtbar, so kann man sie bis in das Gas emporschieben; ist sie dagegen mit einer größeren Luftblase umgeben, so zieht man sie zurück, um die Operation von Neuem zu wiederholen. Bei dem Entfernen der Kugel aus dem Gase zieht man sie stoßweise unter das Quecksilber, bis sie ebenfalls an der Glaswandung nur an einem kleinen Pünktchen erkennbar ist.

völlig, wie Bunsen[1]) gezeigt hat. Der Cylinder *c* wird zur Ausgleichung der Temperatur passend mit Alkohol angefüllt.

Um schließlich zu sehen, ob ein Gas außer Stickstoff überhaupt Sauerstoff oder ein brennbares Gas enthält, ermittelt man nach Bunsen zuerst, ob das Gas an und für sich entzündlich ist, indem man einen elektrischen Funken durch ein gemessenes Volumen desselben schlagen läßt. Findet keine Entzündung statt, so folgt daraus, daß keine größeren Mengen eines brennbaren Gases neben Sauerstoff dem Stickgase beigemengt sind. Es werden nun auf 100 Vol. des Gases ungefähr 30 Vol. Knallgas zugelassen und die Verbrennung bewirkt. Ver-

Fig. 205.



ändert sich dadurch das anfängliche Gasvolumen nicht, so ist mit Sicherheit anzunehmen, daß überhaupt kein Sauerstoff neben einem brennbaren Bestandtheile vorhanden war. Um sodann zu sehen, ob Sauerstoff ohne ein brennbares Gas vorhanden ist, fügt man Wasserstoff und so viel Knallgas hinzu, daß das anfängliche Volumen nebst dem zugesetzten Wasserstoff sich zu dem Knall-

---

1) Bunsen: Gasometrische Methoden, S. 78. Zwar beobachtete Schuller (Ann. d. Phys. [1882], 15, 289) bei der Explosion von Knallgas die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd, Doyere (Ann. chim. phys. [3], 28, 18) bei der Elektrolyse ein nicht völlig normales Knallgas, Andere hierbei die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd. Bei Innehaltung der erwähnten Vorsichtsmaßregeln ist diese Fehlerquelle verschwindend klein oder gar nicht vorhanden.

gas wiederum ungefähr wie 100 : 30 verhält. Erhält man nach der Explosion das ursprüngliche Gas nebst dem zugesetzten Wasserstoff unverändert wieder, so beweist dies die Abwesenheit des Sauerstoffs, und es ist nur noch zu ermitteln, ob keine Spuren brennbarer Bestandtheile zugegen sind. Dies geschieht durch Verbrennung des Gasgemenges mit überschüssiger atmosphärischer Luft bekannter Zusammensetzung oder Sauerstoff, welchen man in einem solchen Verhältnisse hinzufügt, daß das aus dem zugesetzten Wasserstoff und dem Sauerstoff hervorgehende Knallgas gegen die übrigen nicht verbrennlichen Gase sich dem Volumen nach wie 25 bis 60 zu 100 verhält [1]). Entsprechen $^2/_3$ des bei der Explosion dieses Gemenges verschwundenen Gases genau dem zugesetzten Wasserstoffe, so kann man das untersuchte Gas als reinen Stickstoff betrachten. Da Feuergase fast immer überschüssigen Sauerstoff enthalten, so ist diese letztere Prüfung nur in den seltensten Fällen erforderlich.

Zur Bestimmung des Kohlenoxydes führt man nach Absorption der Kohlensäure und des Sauerstoffes durch Kali und Pyrogallol eine Papierkugel (S. 251) in das Bunsen'sche Meßrohr (S. 188) ein, welche mit einer sauren Lösung von Kupferchlorür [2]) getränkt ist und entfernt dann mittelst einer Kalikugel die Salzsäuredämpfe. Genauer wird das Kohlenoxyd dadurch bestimmt, daß man zu dem von Kohlensäure und Sauerstoff befreiten Gase Sauerstoff zutreten läßt, dann, da der Gehalt der Feuergase an Kohlenoxyd fast immer sehr gering ist, zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung (S. 252) etwa 25 Proc. des Gesammtvolumens elektrolytisches Knallgas (S. 253), worauf man das Gasgemisch durch einen Funken entzündet [3]), darauf nach Ausgleich der Temperatur Contraction und Kohlensäure bestimmt. Unter Zugrundelegung der S. 238 erörterten Berechnung erhält man gleichzeitig den etwaigen Gehalt der Gase an Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen. Hat sich bei der Explosion keine Kohlensäure gebildet, war somit kein Kohlenoxyd oder Methan vorhanden, so beträgt der Gehalt an Wasserstoff $^2/_3$ der bei der Explosion eingetretenen Contraction.

---

[1]) Enthält das Gas nämlich mehr als 64 Vol. brennbares Gas auf 100 Vol. nicht brennbares, so entsteht die doppelte Gefahr, daß der Apparat in Folge der heftigen Explosion zertrümmert werden (welche man bei Benutzung des Apparates S. 239 dadurch wesentlich vermindern kann, daß man bei zu erwartender heftiger Explosion das Gas durch Senken der Flasche *L* ausdehnt), und daß sich mit einem Theile Stickstoff Salpetersäure bilden kann. In diesem Falle muß eine entsprechende Menge überschüssiger Luft bekannter Zusammensetzung oder Stickstoff zugesetzt werden.

[2]) Unter Umständen ist zu berücksichtigen, daß Kupferchlorür in saurer Lösung auch Sauerstoff, Acetylen, Allylen und Aethylen absorbirt, in ammoniakalischer Lösung zwar das Quecksilber weniger verunreinigt, sonst aber ähnlich wie die saure Lösung wirkt und auch Kohlenwasserstoffe der Formel C_nH_{2n} verschluckt.

[3]) H. B. Dixon fand, daß Kohlenoxyd und Sauerstoff durch den elektrischen Funken nicht explodiren, wenn das Gasgemisch völlig trocken ist, daß aber das feuchte Gemisch leicht verbrennt (Rep. of the Brit. Assoc. Swansea 1880, 503). Bötsch bestreitet diese Angabe, führt sie auf zu geringen Druck zurück und zeigt, daß die Affinität des Kohlenoxyds zum Sauerstoff bei der Explosion mit der Temperatur wächst (Liebig's Ann. [1882] 210, 207).

Die Darstellung des hierzu erforderlichen Sauerstoffes geschieht nach Bunsen in kleinen, 6 bis 10 ccm fassenden Retorten (Fig. 206), welche man halb mit getrocknetem, gepulvertem, chlorsaurem Kalium füllt, worauf man die Mündung des Ableitungsrohres bei *a* etwas aufwärts biegt, die atmosphärische Luft durch eine rasche Sauerstoffentwicklung austreibt und den Sauerstoff nun unmittelbar in das Eudiometer leitet, doch soll die Sauerstoffmenge den zwei- bis dreifachen Betrag des zu bestimmenden Kohlenoxydes und Wasserstoffes nicht wesentlich übersteigen. In Ermangelung solcher Retorten verwendet man kurze Reagirgläschen, in welche man das Gasableitungsrohr mittelst durchbohrten Korkes einsetzt und welche noch den Vortheil haben, daß das Kaliumchlorat in Krystallen verwendet werden kann, die Röhren aber wiederholt brauchbar sind.

Fig. 206.

Dieses Verfahren von Bunsen zeichnet sich durch große Genauigkeit aus, erfordert aber wegen der langsamen Absorption und des Temperaturausgleiches viel Zeit und einen besonders günstig gelegenen Arbeitsraum. Der vom Verfasser verwendete Apparat (Fig. 196, S. 239) gestattet dagegen die genaue Untersuchung eines derartigen Gasgemisches in etwa einer Stunde und in jedem Laboratorium, da die Temperaturen sehr rasch durch das die Meßröhre umgebende Wasser ausgeglichen werden und die Absorptionen schnell vor sich gehen [1]).

Zu weitaus den meisten Untersuchungen, namentlich zu allen Betriebscontrolen genügt es vollständig, an Ort und Stelle mittelst der Apparate Fig. 203 oder Fig. 204 in der S. 250 erörterten Weise den Gehalt der Feuergase an Kohlensäure und Sauerstoff zu bestimmen, bei geringem Sauerstoffgehalt und anscheinend mangelhafter Verbrennung auch das Kohlenoxyd. Die Bestimmung von Wasserstoff und Kohlenwasserstoff nach Orsat (S. 245), Coquillion (S. 247), welcher neuerdings [2]) statt Palladium auch Platindraht anwendet, sowie nach dem ähnlichen Verfahren von Bunte [3]) muß Verfasser für die Untersuchung von Feuergasen als werthlos bezeichnen, da die unvermeidlichen Versuchsfehler größer sind als die Mengen dieser Gase, welche (mit seltenen Ausnahmen) in Verbrennungsgasen überhaupt vorkommen, eine falsche Analyse aber besser unterbleibt. Wo daher die Untersuchung der Feuergase auf Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe überhaupt erforderlich erscheint, oder wo es auf völlige Genauigkeit bezw. auch der übrigen Bestandtheile ankommt, schmilzt man von Zeit zu Zeit Proben ein (S. 222) und prüft in eben besprochener Weise über Quecksilber.

Zur sicheren Beurtheilung der Feuerung ist zunächst die Kenntniß des Brennwerthes der verwendeten Brennstoffe erforderlich. —

Um nun zunächst eine Durchschnittsprobe der verwendeten Brennstoffe zu erhalten, kann das Verfahren von Scheurer-Kestner (S. 105) zweckmäßiger Weise dahin geändert werden, daß von jedem Karren der zugeführten Kohlen

---

[1]) Nachdem ich den Apparat nunmehr seit zwei Jahren benutze, ziehe ich ihn allen anderen vor. — [2]) Compt. rend. 87, 795; 88, 1204. — [3]) Dingl. Journ. (1878) 228, *529.

eine Schaufel voll in eine mit Deckel versehene Kiste geworfen wird. Nach Beendigung des Versuches werden diese Kohlen zerschlagen, gut gemischt, in erwähnter Weise 4 bis 5 cm hoch ausgebreitet, wiederholt in 4 Theile zerlegt und von zwei gegenüber liegenden Dreiecken eine Durchschnittsprobe von etwa 2 kg in eine gut zu verschließende Flasche gefüllt. Für genauere Untersuchung empfiehlt es sich auch von der zurückgelegten Hälfte in gleicher Weise eine Durchschnittsprobe zu nehmen und diese getrennt zu untersuchen. Da in der Regel während dieser Probenahme bereits ein Wasserverlust zu befürchten ist, so werden von Zeit zu Zeit kleinere Durchschnittsproben von etwa 50 g in vorher gewogenen Probegläschen mit Glasstopfen gefüllt, um zur Wasserbestimmung zu dienen. Eine 44,01 Proc. Wasser enthaltende Braunkohle hatte z. B. nach 24 Stunden bei 18° und 50 Proc. Luftfeuchtigkeit in offener Schale bereits 9,03 Proc. Wasser verloren. Die Untersuchung der Brennstoffe geschieht in der S. 107 bis 127 erörterten Weise.

Enthält nun der fragliche Brennstoff c Proc. Kohlenstoff, h Proc. Wasserstoff, s Proc. Schwefel, o Proc. Sauerstoff und w Proc. Wasser, so erfordert 1 kg Kohle:

$$\frac{2{,}667\,c + 8\,h + s - o}{100} \text{ Kilogramm,}$$

oder

$$\frac{2{,}667\,c + 8\,h + s - o}{100 \times 1{,}43} \text{ Cubikmeter Sauerstoff,}$$

oder

$$\frac{2{,}667\,c + 8\,h + s - o}{21 \times 1{,}43} \text{ Cubikmeter atmosphärische Luft } (L)$$

zur vollständigen Verbrennung (wenn dieselbe 21 Proc. Sauerstoff enthält (vgl. S. 196).

Der Brennwerth wird für praktische Zwecke noch fast immer auf Grund der Elementaranalyse nach der Dulong'schen Formel berechnet. Viele [1]) verwenden hierzu die einfache Formel:

$$W = \frac{8000\,c + 34\,500\,(h - {}^1/_8\,o)}{100},$$

oder auch

$$W = \frac{8000\,c + 34\,462\,(h - {}^1/_8\,o)}{100}.$$

Andere [2]) berücksichtigen das hygroskopische Wasser, z. B.:

$$W = \frac{8000\,c + 34\,400\,(h - {}^1/_8\,o) - 637\,w}{100}.$$

---

[1]) W. Avenarius: Chemisch-technische Analyse. Braunschweig 1882, S. 32. — [2]) E. Kopp: Bolley's Handbuch der chemisch-technischen Untersuchungen. Leipzig 1876, S. 533.

F. Schwackhöfer [1]) führt in den Brennstoffanalysen den Sauerstoff nicht als solchen, sondern mit Wasserstoff verbunden als „chemisch gebundenes Wasser" auf, für welches die latente Wärme ebenfalls in Abzug gebracht wird, so daß sich unter Beibehaltung der hier gewählten Bezeichnungen die Formel ergiebt:

$$W = \frac{8080\,c + 34\,462\,(h - {}^1/_8\,o) - 637\,(w + {}^9/_8\,o)}{100}.$$

Wieder Andere stellen die Verdampfungswärme des gesammten, bei der Verbrennung gebildeten Wassers in Rechnung und zwar B. Kerl [2]) mit 540 W.-E., Ferrini [3]) mit 600 (abgerundet statt 637) und C. A. M. Balling [4]) sogar mit 652 W.-E. (für 150°), so daß nach Ferrini:

$$W = \frac{8100\,c + 34\,500\,h - 600\,(w + 9\,h)}{100},$$

nach Balling aber:

$$W = \frac{8080\,c + 34\,462\,(h - {}^1/_8\,o) - 652\,(w + 9\,h)}{100}.$$

L. Gruner [5]) führt aus, daß, wenn der feste Kohlenstoff 8080 W.-E. giebt, dem vergasten Kohlenstoffe, entsprechend dem Welter'schen Gesetze [6]), 11 214 W.-E. zukommen, so daß der seiner Ansicht nach wenig condensirte Kohlenstoff der Steinkohlen mehr Wärme erzeugen müsse, als der reine Kohlenstoff aus Holzkohle. Andererseits müsse man für den im festen Zustande befindlichen Wasserstoff der Steinkohle eine niedrigere Zahl als 34 462 W.-E. wählen, weil diese für den gasförmigen Wasserstoff gelte. Er schlägt daher vor, für den Kohlenstoff der Steinkohlen 9000 W.-E., für den Wasserstoff 30 000 W.-E. einzusetzen, und empfiehlt zur Beurtheilung der Kohlen die sogenannte Immediatanalyse, da die Heizkraft der Kohlen mit der Menge des bei der Destillation zurückbleibenden festen Kohlenstoffes zu- und abnehme. In derselben Weise [8080 — (2 × 2473)] berechnet auch Rankine die Vergasungswärme des Kohlenstoffes zu 3134 W.-E.

Sehr ähnlich ist der Vorschlag von Hilt [7]) und Cornut, die Koksausbeute zu bestimmen und dann den Brennwerth der Kohle zu berechnen nach:

$$W = \frac{8080\,c_f + 11\,214\,c_v + 34\,462\,h}{100},$$

worin c_f den festen, c_v den flüchtigen Kohlenstoff bedeutet. Hierbei ist völlig

---

[1]) Bericht des von der niederösterreichischen Gewerbekammer eingesetzten Comité zur Berathung über eine in Wien zu errichtende Versuchsanstalt für die Erprobung des Heizwerthes von Brennstoffen. Redigirt von C. Völckner, Wien 1880, S. 11 und 47. — [2]) B. Kerl und Stohmann: Technische Chemie, Braunschweig 1876, Bd. 3, S. 867. — [3]) R. Ferrini: Technologie der Wärme, Feuerungsanlagen u. s. w. Unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Italienischen von M. Schröter (Jena 1878), S. 135. — [4]) C. A. M. Balling: Metallurgische Chemie, Bonn 1882, S. 224. — [5]) Ann. des Mines (1873) 2, 511; 4, 169; Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1874, 1023; Dingl. Journ. (1874) 213, 70, 242, 430. — [6]) Vergl. Dingl. Journ. (1876) 220, 182; (1868) 189, 44. — [7]) Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure 1875, S. 290.

übersehen, daß die Vergasung des Kohlenstoffes doch Wärme erfordert hat, so daß die Berechnung nach dieser Formel (abgesehen von der zu hohen Zahl für Wasserstoff) zu hohe Werthe giebt.

Zunächst ist bei der Berechnung der Kohlenanalysen die Vereinigung des Sauerstoffes mit der entsprechenden Menge Wasserstoff als „chemisch gebundenes Wasser" entschieden falsch. Denn wenn der Sauerstoff bereits mit Wasserstoff zu Wasser verbunden vorhanden wäre, so müßte dieses bei der Destillation der Brennstoffe als solches entweichen. Thatsächlich enthält aber Steinkohlengas (S. 287) eine große Menge von Kohlensäure und Kohlenoxyd, Holzgas [1]) sogar bis 64 Proc. Kohlensäure und 31 Proc. Kohlenoxyd, das beim schwachen Erhitzen von Braunkohlen erhaltene Gas etwa 60 Proc. Kohlensäure und 20 Proc. Kohlenoxyd, so daß der Sauerstoff dem Kohlenstoff offenbar näher steht als dem Wasserstoff und daher besser getrennt angegeben wird.

Für den Brennwerth des Kohlenstoffs wird man, bis weitere Bestimmungen vorliegen, den Werth von 8080 nach Favre und Silbermann [2]) beibehalten oder den von Scheurer-Kestner [3]) gefundenen von 8103 W.-E. beziehentlich abgerundet 8100 W.-E. und liegt keine Veranlassung vor, auf die Gruner'sche Hypothese einzugehen.

Für Wasserstoff fanden Favre und Silbermann (a. a. O. S. 399) in sechs Versuchen 34 340 bis 34 576, im Mittel 34 462 W.-E., J. Thomsen [4]) 34 180 W.-E., Berthelot [5]) 34 600 W.-E., C. v. Than [6]) 33 982 W.-E., Schuller und Wartha [7]) 34 126 W.-E., im Mittel 34 266 W.-E. Neuerdings hat Than [8]) die genauer ermittelten Werthe umgerechnet unter Annahme der specifischen Wärme des Wassers bei 15° als Einheit:

	Bei constantem Volumen	bezieh. Druck
Nach Than	33 822 W.-E.	34 218 W.-E.
„ Andrews	33 888	34 230
„ Thomsen	33 810	34 297
„ Favre und Silbermann	33 746	34 154
„ Schuller und Wartha	33 791	34 199
		Mittel 34 220 W.-E.

Der wahrscheinliche Werth für die Verbrennungswärme des Wasserstoffes zu flüssigem Wasser ist danach 34 220 W.-E. Thatsächlich entweicht nun aber das Wasser aus unseren Feuerungen als Wasserdampf, so daß man 9×637 in Abzug bringen muß, wenn die Gase mit 100° entweichen, somit $34\,220 - 5733 = 28\,487$ W.-E. Dann aber darf man den durch die höhere specifische Wärme der Rauchgase bewirkten Verlust für das hygroskopische und das bei der Verbrennung gebildete Wasser erst von 100° an rechnen. Bequemer für die spätere

[1]) Wagner's Jahresber. 1880, 417. — [2]) Ann. d. chim. phys. (1852) **34**, 411 bis 424. Ihre erste Versuchsreihe ergab 8035 bis 8113, die sechs letzten Versuche 8070 bis 8089 W.-E. — [3]) Compt. rend. (1868) **67**, 661. — [4]) Pogg. Ann. (1873) **148**, 375. — [5]) Compt. rend. (1880) **90**, 1241. — [6]) Bericht. deutsch. chem. Gesellsch. 1877, 947, 2141. — [7]) Ann. d. Phys. (1877) **2**, 359. — [8]) Chem. Centralbl. 1881, 828.

Verlustberechnung ist es, bei einer mittleren Lufttemperatur von $T = 20^0$ nach Regnault[1]) 613 W.-E., oder was wohl richtiger erscheint, da die Gase bei Dampfkesselfeuerungen mit über 100^0 entweichen, $637 - (80 \times 0{,}4805) = 599$ oder abgerundet 600 W.-E., somit $34\,220 - 5400 = 28\,820$ oder rund 28 800 W.-E. als Brennwerth des Wasserstoffes in Rechnung zu setzen. Die Berechnung der latenten Siedewärme auch für das aus dem sogenannten gebundenen Wasserstoffe gebildete Wasser halte ich nicht für angebracht.

Der Schwefel ist in der Kohle theils als Schwefelkies, theils in organischer Verbindung vorhanden; er verbrennt theils zu Schwefligsäure, theils aber zu Schwefelsäure, so daß man wohl den Mittelwerth 2500 W.-E. einsetzen darf.

Es ergiebt sich danach die Formel:

$$W = \frac{8100\,c + 28\,800\,(h - {}^1\!/_8\,o) + 2500\,s - 600\,w}{100}.$$

Ob es richtiger ist, für gewisse Brennstoffe den Brennwerth des gesammten Wasserstoffs in Rechnung zu setzen, oder den Sauerstoff als mit Kohlenstoff verbunden, somit:

$$W = \frac{8100\,c + 28\,800\,h + 2500\,s - 600\,w}{100}$$

oder

$$\frac{8100\,(c - {}^3\!/_8\,o) + 28\,800\,h + 2500\,s - 600\,w}{100},$$

müssen weitere Forschungen ergeben. Völlig zutreffende Resultate sind durch diese Berechnungen natürlich nicht zu erreichen, da wir es in den Brennstoffen nicht mit einem Gemisch von festem Kohlenstoff, gasförmigen Wasserstoff und Sauerstoff, sondern mit chemischen Verbindungen zu thun haben, die zur Zeit noch unbekannt sind. Für praktische Zwecke wird man jedoch vorläufig damit zufrieden sein, oder aber sich auf calorimetrische Bestimmungen einrichten müssen (S. *160). —

Die Dauer der Versuche darf nicht zu kurz bemessen werden; eine Beurtheilung der Feuerung läßt sich meist in 3 bis 4 Stunden erreichen, ein Verdampfungsversuch am Dampfkessel z. B. sollte aber mindestens 10 Stunden dauern.

Die Temperatur der abziehenden Rauchgase wird mittelst 75 cm bis 1 m langer Thermometer [womöglich solcher mit Stickstofffüllung[2])] bestimmt, welche in den Rauchcanal vor dem Schieber so eingesetzt werden, daß die Quecksilberkugel sich möglichst mitten im Gasstrome befindet. Die Ablesungen erfolgen so oft (oder halb so oft) als Gasproben genommen werden. Haben die Rauchgase eine Temperatur von über 360^0, so ist die Bedienung der Feuerung entsprechend zu ändern, oder es sind die S. 48 und 61 beschriebenen Pyrometer zu verwenden.

---

[1]) Regnault: Mémoires de l'Académie (1847) 21, 635. — [2]) Universitätsmechaniker W. Apel in Göttingen liefert 75 cm lange Thermometer für 5,50 Mk., 1 m lange mit Stickstofffüllung für 12 Mk.

Zur Untersuchung der Rauchgase werden während des ganzen Versuches in gleichmäßigen Zwischenräumen stündlich 5 bis 6 Gasproben durch ein luftdicht im Fuchs neben dem Thermometer eingesetztes Glasrohr, dessen untere Mündung möglichst mitten in den Gasstrom reicht, entnommen und deren Gehalt an Kohlensäure und Sauerstoff bestimmt (S. 248), sowie auf etwaigen Gehalt an Kohlenoxyd geprüft. Enthalten die Rauchgase nennenswerthe Mengen von Kohlenoxyd — was meist nur bei mangelhaften Feuerungen der Fall ist —, so ist die Bedienung der Feuerung entsprechend zu ändern, oder aber es sind Gasproben einzuschmelzen und im Laboratorium auf ihren Gehalt an Kohlenoxyd, Wasserstoff und Kohlenwasserstoff zu prüfen (S. 222 und 239). Ferner wird stündlich der Feuchtigkeitsgehalt (S. 172) und die Temperatur der in die Feuerung tretenden Luft mittelst eines vor strahlender Wärme geschützten Thermometers bestimmt. Von den erhaltenen Resultaten wird das arithmetische Mittel genommen und den folgenden Berechnungen zu Grunde gelegt.

Ergab die Gasanalyse k Proc. Kohlensäure, o Proc. Sauerstoff und n Proc. Stickstoff, so ist das Verhältniß der gebrauchten Luftmenge zu der theoretisch erforderlichen, wenn die Verbrennungsluft x Proc. Sauerstoff und z Proc. Stickstoff enthält:

$$v = \frac{x}{x - (z\,o:n)} \text{ oder } \frac{n}{n - (z\,o:x)} \text{ bezieh. } \frac{21}{21 - (79\,o:n)}$$

bei 21 Proc. Sauerstoff; 1 kg der Kohle mit c Proc. Kohlenstoff [1]) giebt $= 1{,}854\,c:100 = K$ cbm Kohlensäure (von 0° und 760 mm), $Ko:k = O$ cbm Sauerstoff und $Kn:k = N$ cbm Stickstoff. Die Menge w des in den Rauchgasen enthaltenen Wasserdampfes wird berechnet aus dem Wassergehalt der Kohle (w : 100), dem durch Verbrennung des Wasserstoffes gebildeten (0,09 h) und dem in der Verbrennungsluft enthaltenen (vLf; vgl. S. 183) [2]). Die Gesammtmenge der Verbrennungsgase von 1 kg Kohle ist somit:

$$\frac{{}^{11}\!/_{3}\,c}{100} + 1{,}430\,O + 1{,}257\,N + \frac{2\,s}{100} + w_1 \text{ Kilogramm,}$$

oder

$$K + \frac{K\,(o+n)}{k} + \frac{2\,s}{286{,}4} + \frac{w_1}{0{,}805} \text{ Kubikmeter von 0° und 760 mm.}$$

Enthalten die Rauchgase Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoff, so ist zu berücksichtigen, daß nach den Formeln $C + O_2 = CO_2$, $C + O = CO$ und $C + 2H_2 = CH_4$ je 1 cbm dieser Gase 0,5395 kg Kohlenstoff enthält [3]). Ergab nun die Analyse k Proc. Kohlensäure, d Proc. Kohlenoxyd, m Proc.

[1]) Nach Abzug des etwaigen Gehaltes der Asche an unverbranntem Kohlenstoff. — [2]) Statt vL wird man oft hinreichend genau $K + O + N$ nehmen, welcher Ausdruck wegen des beim Verbrennen des Wasserstoffes verschwundenen Sauerstoffes meist etwas kleiner ist als vL. — [3]) 1 kg Kohle giebt $44:(12 \times 1{,}9781) = 1{,}8537$ cbm Kohlensäure. Dieselbe Zahl wird erhalten, wenn für Kohlenstoff 11,97 und für Sauerstoff 15,96 gesetzt wird (vgl. Wagner's Jahresber. 1881, 379), folglich enthält 1 cbm $1:1{,}8537 = 0{,}5395$ kg Kohlenstoff.

Methan (CH_4), h Proc. Wasserstoff, o Proc. Sauerstoff und n Proc. Stickstoff, sowie in 1 cbm r kg Kohlenstoff als Ruß, so enthält 1 cbm dieser Gase $= \frac{1}{100}(k + d + m)\ 0{,}5395 + r$ kg Kohlenstoff und 1 kg Kohle giebt $= 0{,}01\,c : [0{,}01\ (k + d + m)\ 0{,}5395 + r] = G$ Kubikmeter trockene Gase, darin:

$$\frac{Gk}{100} = K \text{ Kubikmeter Kohlensäure, } \frac{Kd}{k} \text{ oder } \frac{Gd}{100} \text{ Kohlenoxyd,}$$

$$\frac{Gm}{100} \text{ Methan, } \frac{Gh}{100} \text{ Wasserstoff, } \frac{Go}{100} \text{ Sauerstoff und } \frac{Gn}{100} \text{ Stickstoff.}$$

Schwefligsäure (bezieh. Schwefelsäure) und Wasserdampf werden wie vorhin berechnet. Das Gewicht dieser Gase findet sich leicht mit Hülfe der kleinen Tabelle auf S. 139.

Der Brennwerth des Kohlenoxydes ist nach Favre und Silbermann[1]) 2389 bis 2417, im Mittel 2403 W.-E., nach Thomsen[2]) = 68 370 : 28 = 2442 W.-E., nach Berthelot[3]) = 68 300 : 28 = 2439 W.-E., im Mittel somit 2428 W.-E. Der Brennwerth des Methans ist nach Favre und Silbermann (a. a. O. S. 427) = 13 063 W.-E., nach Thomsen = 213 530 : 16 = 13 346 W.-E., nach Berthelot = 213 500 : 16 = 13 344 W.-E., im Mittel 13 251 W.-E., bezogen auf flüssiges Wasser. Nun giebt 1 kg Methan 2,25 kg Wasser, so daß unter Zugrundelegung von 20° Lufttemperatur 1350 W.-E. abzuziehen sind und nur 11 900 W.-E. gerechnet werden dürfen. Somit ergeben sich die Brennwerthe:

	Bildung von flüssigem Wasser bei 0°			Bildung von Wasserdampf bei 20°			Gewicht von 1 cbm
	1 kg	cbm		1 kg	cbm		
Kohlenoxyd (CO) . . .	2 428	3058	W.-E.	2 428	3058	W.-E.	1,2593 kg
Methan (CH_4)	13 251	9481		11 900	8514		0,7155
Wasserstoff	34 220	3060		28 800	2580		0,0896

Der Verlust durch unvollkommene Verbrennung ergiebt sich aus dem Brennwerthe der unverbrannten Kohle in den Herdrückständen und dem der etwaigen brennbaren Bestandtheile (Kohlenoxyd, Methan, Wasserstoff, Ruß) der Rauchgase.

Ein Beispiel möge diese Berechnungen erläutern. Die verwendete Kohle bestehe aus:

Kohlenstoff	80 Proc.
Wasserstoff	4
Sauerstoff	8
Stickstoff	1
Schwefel	2
Wasser	3
Asche	2
	100

[1]) Ann. de chim. phys. (1852) 34, 405. — [2]) Bericht. deutsch. chem. Gesellsch. 1880, 1321, 1805, 2320. — [3]) Wagner's Jahresber. 1880, 922.

So ist der Brennwerth nach der S. 259 entwickelten Formel:

$$W = \frac{8100 \times 80 + 28800\,(4 - {}^{8}/_{8}) + 2500 \times 2 - 600 \times 3}{100} = 7376 \text{ W.-E.}$$

1 kg dieser Kohle erfordert

$$\frac{{}^{8}/_{3} \times 80 + 8 \times 4 + 2 - 8}{100} = 2{,}393 \text{ kg oder } 1{,}673 \text{ cbm Sauerstoff,}$$

somit

$$\frac{{}^{8}/_{3} \times 80 + 8 \times 4 + 2 - 8}{1{,}43 \times 21} = 7{,}97 \text{ cbm Luft,}$$

wenn dieselbe 21 Proc. Sauerstoff enthielt.

Die Untersuchung der Rauchgase ergebe zunächst im Durchschnitt 320° und:

Kohlensäure	15 Proc.
Sauerstoff	5
Stickstoff	80

Die äußere Luft habe 20° und sei mit Wasserdampf gesättigt, so daß $f = 0{,}017$ (S. 183), die Asche enthalte zu vernachlässigende Mengen unverbrannter Kohle. Dann ergab 1 kg Kohle $1{,}854 \times 0{,}8 = 1{,}483$ cbm Kohlensäure, 0,494 cbm Sauerstoff und 7,909 cbm Stickstoff, zusammen 9,886 cbm trockener Gase; dieselbe Zahl wird nach der Formel $c : (k \times 0{,}5395)$ oder $80 : (15 \times 0{,}5395)$ erhalten. Das Verhältniß der gebrauchten zur theoretisch erforderlichen Luftmenge ist $v = 1{,}31$. Die Menge des Wasserdampfes ist $0{,}03 + 0{,}36 + (7{,}97 \times 1{,}31 \times 0{,}017) = 0{,}567$ kg $= 0{,}705$ cbm. Der Wärmeverlust beträgt somit für 1 kg Kohle:

	cbm	(320 — 20) × Specif. W.	Wärmeverlust
Kohlensäure	1,483	138,9	206 W.-E.
Sauerstoff	0,494	93,3	46
Stickstoff	7,909	91,9	727
Schwefligsäure	0,014	133,4	2
Wasserdampf	0,705	116,0	82
	10,605		1063 W.-E.

somit 14,3 Proc. des Gesammtbrennwerthes. Für die trockenen Rauchgase allein ergeben sich 980 W.-E., bei Annahme einer mittleren specifischen Wärme von 0,307, wie Bunte (S. 165) annimmt, aber nur 910 W.-E., während auf den meist nicht berücksichtigten Wasserdampf der Verbrennungsluft 25 W.-E. entfallen. Ich kann mich daher zur Annahme derartiger Näherungswerthe nicht entschließen, welche nur den Zweck haben, nach einem 8 bis 10stündigen Heizversuche bei der Berechnung der Resultate einige Minuten Zeit zu ersparen, dafür aber etwa 10 Proc. des Gesammtverlustes betragende Rechnungsfehler zu begehen. Der Verlust durch die Schwefligsäure der Rauchgase dagegen ist so klein, daß er um so eher vernachlässigt werden kann, als diese gewöhnlich mit der Kohlensäure zusammen bestimmt wird. Die mit der Temperatur steigende

specifische Wärme der Kohlensäure ist aber zu berücksichtigen (S. 143), da Le Chatelier[1]) neuerdings wieder bestätigt hat, daß die specifische Wärme der Kohlensäure und des Wasserdampfes bei 2000° fast doppelt so groß ist, als bei 200°.

Hätte man den Brennwerth der Kohle auf flüssiges Wasser von 0° berechnet, somit:

$$W = 8100 \times 0{,}8 + 34\,220 \times 0{,}03 + 2500 \times 0{,}02 = 7557 \text{ W.-E.},$$

so ergiebt die Verlustberechnung für Wasser:

$$\begin{array}{lr} (0{,}03 + 0{,}36)\,637 \ldots\ldots\ldots & = 248 \text{ W.-E.} \\ 0{,}39 \times 220 \times 0{,}4805 \ldots\ldots\ldots & = 41 \\ (7{,}97 \times 1{,}31 \times 0{,}017) \times (300 \times 0{,}4805) & = 25 \\ \hline & = 314 \text{ W.-E.}, \end{array}$$

wenn man auch die latente Wärme für das aus dem sogenannten gebundenen Wasserstoff gebildete Wasser in Rechnung setzt. Geschieht dies nicht, so ist der Verlust um 0,09 × 600 = 54 W.-E. geringer, beträgt somit nur 260 W.-E. Nach der ersten Rechnung bleibt demnach ein nutzbarer Rest von 7376 — 1063 = 6313 W.-E., nach der letzteren von 7557 — 1241 = 6316 W.-E.; der Unterschied erklärt sich aus den Abrundungen der Rechnung, sowie aus der der letzteren Rechnung zu Grunde liegenden Annahme, daß die Kohle 0° habe.

Bei sonst gleichen Versuchsbedingungen ergebe die Untersuchung der Rauchgase einer schlechten Feuerung in 1 cbm 0,0011 kg Kohlenstoff als Ruß und:

Kohlensäure	15	20 Proc.
Kohlenoxyd	4	
Kohlenwasserstoff	1	
Wasserstoff	1	
Sauerstoff	2	
Stickstoff	77	

Für je 100 kg Kohlen seien 2,5 kg Herdrückstände mit 20 Proc. unverbranntem Kohlenstoff erhalten, so daß von 1 kg Kohle statt 0,80 nur 0,795 kg Kohlenstoff in die Rauchgase übergegangen sind und 1 kg Kohle = 0,795 : [0,2 × 0,5395 + 0,0011] = 7,294 cbm trockene Rauchgase gegeben hat und darin 1,094 cbm Kohlensäure, 0,292 cbm Kohlenoxyd, 0,073 cbm Methan, 0,073 cbm Wasserstoff, 0,146 cbm Sauerstoff, 5,616 cbm Stickstoff und 0,008 kg Ruß. 1 Liter Methan enthält 2 Liter Wasserstoff, es entweichen somit 0,219 Liter oder 0,02 kg, also die Hälfte des Wasserstoffs unverbrannt, so daß die Rauchgase nur 0,37 kg oder 0,46 cbm Wasserdampf enthalten und sich durch die höhere Temperatur der Gase ein Wärmeverlust ergiebt von:

---

[1]) Compt. rend. (1881) 93, 1014.

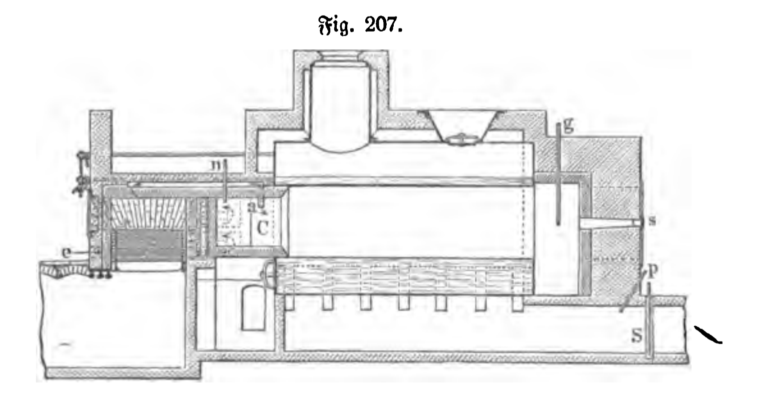
	cbm	(320 — 20) × Specif. W.	Wärmeverlust
Kohlensäure	1,094	139	152 W.-E.
Kohlenoxyd	0,292	93	27
Methan	0,073	127	9
Wasserstoff	0,073	92	7
Sauerstoff	0,146	93	14
Stickstoff	5,616	92	517
Wasser	0,46	116	53
			779 W.-E.

Der Wärmeverlust durch unvollkommene Verbrennung ergiebt sich für 1 kg Kohle zu:

	cbm	kg	Brennwerth
Kohlenoxyd	0,292	0,368	893 W.-E.
Methan	0,073	0,052	620
Wasserstoff	0,073	0,0065	187
Ruß	—	0,008	65
Kohlenstoff der Herdrückstände	—	0,005	40
			1805 W.-E.

Als Beispiel einer ausgeführten Rauchgasanalyse möge die Untersuchung einer Dampfkesselfeuerung näher erörtert werden, bei welcher gleichzeitig festzustellen

Fig. 207.



war, welchen Werth eine sogenannte Rauchverbrennungsvorrichtung hatte. Dieselbe ist, wie die drei Figuren 207 bis 209 zeigen, bei einem Einflammrohrkessel als Vorfeuerung ausgeführt. Die von der Thür *d* aus in den Schacht *A* eingefüllten Kohlen werden hier vorgewärmt, theilweise entgast, rutschen dann zu beiden Seiten auf dem schrägen Rost *r* herunter, um hier und auf den wagerechten Rosten der von *b* aus zugänglichen Brennkammern *B* völlig zu verbrennen. Die durch die Oeffnung *e* angesaugte Luft umzieht die Wandungen der Brennkammern *B*, erhitzt sich weiter in den Zwischenräumen der beiden in einander gesteckten Chamotteröhren *C* und mischt sich bei *a* mit den durchziehenden Feuergasen, um hierdurch eine völlige Verbrennung der Rauchgase zu erzielen.

Nachdem Verfasser zunächst durch Vorversuche festgestellt hatte, daß bei einer Schieberöffnung S von 24 cm die Rauchgase im Durchschnitt mit 6,1 Proc. Kohlensäure und 245°, bei 11 cm Schieberöffnung mit 11,7 Proc. Kohlensäure und 215°, bei 9 cm Schieberöffnung aber im Durchschnitt mit 14,2 Proc. Kohlensäure und 201° entwichen, wurde wenige Tage später eine längere Versuchsreihe ausgeführt, deren Resultate in nachfolgender Tabelle zusammengestellt sind. Die Temperatur t der abziehenden Rauchgase wurde bei p mit einem 75 cm langen Quecksilberthermometer mit Stickstofffüllung, die Temperatur T am Ende des ersten Zuges mit einem durch das Schauloch s eingeführten neuen Graphitpyrometer von Steinle und Hartung (S. 11) bestimmt. Die Gase wurden bei p angesaugt, zur Vergleichung auch bei g durch ein eingesenktes Porzellanrohr zeit-

Fig. 208.

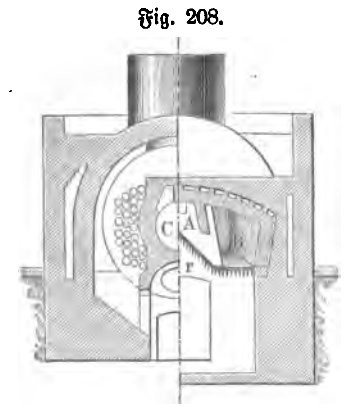
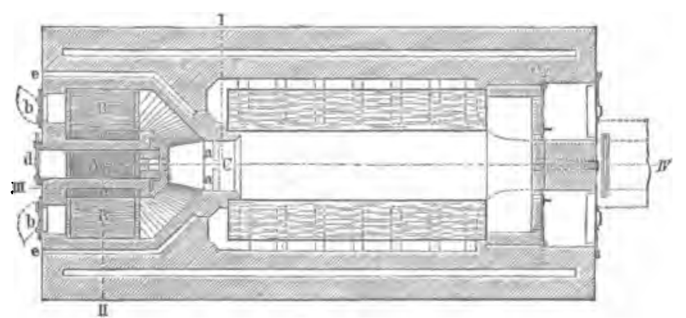


Fig. 209.



weilig Proben entnommen und an Ort und Stelle mittelst des Apparates Fig. 204 in der S. 250 erörterten Weise untersucht. Da die Analysen übereinstimmten, so waren die Gase hinreichend gemischt, gleichzeitig ergab sich hierdurch, daß das Mauerwerk gut gedichtet war, da sonst der Sauerstoffgehalt der Gase bei p größer, der Kohlensäuregehalt entsprechend kleiner gewesen wäre als bei g. Da die abziehenden Rauchgase rauchfrei waren und hinreichend Sauerstoff enthielten, so war vorauszusehen, daß keine nennenswerthen Mengen Kohlenoxyd und Wasserstoff vorhanden sein konnten, doch wurde, als der Sauerstoffgehalt sehr gering war, eine Probe eingeschmolzen (S. 222) und mit dem Apparate Fig. 196 untersucht. Um ferner die Wirkung der Luftzufuhr bei e festzustellen, wurden zeitweilig Proben von den Luftaustrittsöffnungen bei a durch ein Porzellanrohr n entnommen. Die Untersuchung ergab:

Probe-nahme Uhr	Min.	Kohlensäure	Sauerstoff	Stickstoff	T	t	Bemerkungen
8	55	14,3	5,1	80,6	640	231	Lufttemp. 23°, 1 cbm Luft enthält 16,5 g Wasser.
9	—	12,1	7,7	80,2			Schieberstellung S 9 bis 10 cm.
	5	9,9	10,0	80,1			
10	5	14,3	5,2	80,5	565	202	
	10	14,8	4,6	80,6			
	20	15,4	3,8	80,8	561	205	
	30	14,5	4,9	80,6			
	40	14,6	4,9	80,5	568	208	
	50	13,6	6,1	80,3			
11	—	13,9	5,6	80,5	562	204	Lufttemp. 24°, 1 cbm Luft enthält 16,1 g Wasser.
	10	13,9	5,8	80,3			
	15	14,0	5,3	80,7			
	20	15,9	3,8	80,3			} Vorn bei n.
	25	14,0	5,4	80,6			
	40	14,9	4,8	80,3	508	206	Luftzufuhr e verstopft.
	50	13,9	5,7	80,4			
12	—	12,4	7,0	80,6	545	206	
	10	5,5	14,6	79,9			Während des Ausschlackens.
	15	6,2	13,7	80,1			
	30	8,4	11,6	80,0			
	45	12,2	7,7	80,1	610	218	Luftzufuhr wieder geöffnet.
1	—	12,2	7,5	80,3	580	209	
	20	14,8	5,0	80,2	540	208	
	30	14,1	5,3	80,6			
	40	12,9	6,5	80,6			
	50	12,2	7,3	80,5	520	201	
2	—	14,6	4,6	80,8			Lufttemp. 24,5°, 1 cbm Luft enthält 15,4 g Wasser.
	10	13,6	5,8	80,6			
	20	13,1	6,3	80,6	552	204	
	30	14,2	5,4	80,4			
	50	13,3	6,0	80,7			
3	—	13,4	6,1	80,5	580	218	
		13,0	6,6	80,4	564°	209°	Mittel.

Eine Durchschnittsprobe der zur Heizung des Kessels verwendeten westfälischen Nußkohlen (Shamrock) bestand aus:

Kohlenstoff	85,14
Wasserstoff	4,62
Schwefel, flüchtig	1,04
Schwefel in der Asche	Spur
Sauerstoff und Stickstoff	6,20
Wasser	1,06
Asche	1,94
	100,00

entsprechend einem Brennwerthe von rund 8000 Wärmeeinheiten.

Der Durchschnitt obiger 32 Einzelproben[1]) ergibt somit für 1 kg Kohle

	cbm	185 × Spec. Wärme[2])	Wärmeverlust
Kohlensäure	1,58	81,23	128 W.-E.
Sauerstoff	0,80	57,56	46
Stickstoff	9,77	56,68	554
Wasser	0,77	71,54	55
	12,92		783 W.-E.

Für je 1 kg Kohle entwichen demnach durchschnittlich 12,92 cbm Verbrennungsgase mit 783 Wärmeeinheiten, entsprechend einem Wärmeverlust von 9,8 Proc. (vgl. S. 146). Eine spätere Versuchsreihe ergab im Wesentlichen dasselbe Resultat. Eine dem Rohre *g* entnommene Probe bestand (über Quecksilber untersucht) aus:

---

[1]) Zur bequemen Berechnung des Wärmeverlustes möge als Nachtrag zu S. 144 eine Zusammenstellung der specif. Wärme der Gase berechnet auf 1 cbm derselben folgen:

	Specif. Wärme	Gewicht von 1 cbm	Specif. Wärme von 1 cbm
Kohlensäure (CO_2) von 10 bis 150°	0,20914	1,9781 k	0,4137
200	0,21564	—	0,4265
250	0,22197	—	0,4391
300	0,22812	—	0,4512
350	0,23409	—	0,4631
Kohlenoxyd	0,2450	1,2593	0,3084
Sauerstoff	0,21751	1,4303	0,3111
Stickstoff	0,2438	1,2566	0,3064
Wasserstoff	3,4090	0,0896	0,3054
Wasserdampf	0,48051	0,8048	0,3867
Methylwasserstoff (CH_4)	0,59295	0,7155	0,4243
Schwefligsäure	0,15531	2,8640	0,4448

[2]) 209° weniger 24° Lufttemperatur.

Kohlensäure	16,59
Kohlenoxyd	0
Sauerstoff	2,80
Wasserstoff	0
Stickstoff	80,61
	100,00

Brennbare Gase waren demnach trotz des geringen Luftüberschusses hier nicht nachweisbar; dieses günstige Verhältniß ist wohl der theilweisen Entgasung im Füllschacht, sowie dem Umstande zuzuschreiben, daß die Feuergase zunächst durch das glühende Chamotterohr hindurchgehen müssen, bevor sie mit abkühlenden Kesselflächen zusammenkommen. Dem entsprechend war auch die Rußbildung bei beiden Kesseln gering, so daß aus dem Schornsteine nur dann schwarzer Rauch entstieg, wenn der Heizer aus dem Kohlenschachte eine größere Menge nicht genügend erhitzter Kohlen auf den Planrost in *B* niederstieß. Die complicirte Luftzuführung bei *a* dagegen erwies sich, wie vorauszusehen war, nach obigen Analysen als zwecklos, da das Verschließen derselben ohne nachweisbaren Einfluß auf die Rauchgase war. —

Bei der Untersuchung von Feuerungsanlagen ist auch oft die Zugstärke zu messen. Hierzu verwendet Verfasser seit Jahren ein U-Rohr, welches zur Erleichterung des Ablesens mittelst kleiner Messingbügel *a* (Fig. 210) auf das 1 cm dicke Brett *A* befestigt ist. Hinter dem Rohre *BD* ist in einem 4 mm tiefen Ausschnitte *n* ein kleiner Maßstab mit Millimetertheilung mittelst des Knopfes *c* verschiebbar eingesetzt. Beim Gebrauch wird das Rohr etwa zur Hälfte mit gefärbtem Wasser gefüllt, dann das Brett mittelst zweier unten und oben eingeschraubter Oesen an eine Wand, bei einzelnen Untersuchungen auch einfach an den Apparat für Rauchgasanalysen (S. 249) befestigt und mittelst des Knopfes *c* der Maßstab so verschoben, daß der Nullpunkt genau mit dem unteren Meniskus der Flüssigkeit in beiden Schenkeln — wie in Fig. 210 — zusammentrifft. Nun wird der Schenkel *D* mittelst Gummistopfen und Glasrohr oder Gummischlauch mit dem Schornsteine verbunden und der Höhenunterschied beider Flüssigkeitssäulen abgelesen. Da hier keine Luft hindurchgesaugt wird, so kann man mittelst dieser kleinen Vorrichtung selbst auf größere Entfernungen hin durch Einschaltung eines engen Bleirohres oder Gummischlauches die Zugstärke messen. Durch Lösen der Verbindung kann man sich jederzeit von der Richtigkeit der Angaben überzeugen. — Andere Zugmesser sollen später besprochen werden.


Fig. 210.



Generatorgase werden in der S. 239 besprochenen Weise untersucht, oder aber wie Leuchtgas.

Untersuchung von Leuchtgas.

Bei der Untersuchung des Leuchtgases kommen für den praktischen Betrieb namentlich specifisches Gewicht, Kohlensäure, Ammoniak und Schwefel in Frage, während Wasserstoff und die Kohlenwasserstoffe seltener bestimmt werden.

Fig. 211.



Specifisches Gewicht. R. Bunsen[1]) findet das specifische Gewicht von Gasen durch Bestimmung ihrer Ausströmungsgeschwindigkeit aus enger Oeffnung in dünner Platte; das Gewicht zweier Gase verhält sich dann wie die Quadrate ihrer Ausströmungszeiten.

Schilling[2]) hat dieses Verfahren dahin vereinfacht, daß er eine cylindrische Glasröhre *A* (Fig. 210) von 40 mm innerem Durchmesser und 45 cm Länge verwendet, deren aufgekitteter Messingdeckel das Einströmungsrohr *a*, Ausströmungsrohr *b* und ein Thermometer trägt. Das Ausströmungsrohr *b* ist 12 mm weit und oben mit einem Platinblech geschlossen, welches in der Mitte eine feine Oeffnung hat. Der 125 mm weite äußere Cylinder wird mit so viel Wasser versehen, daß dieses nach Füllung des inneren Rohres *A* mit Luft oder Gas bis zu einer Marke in der Nähe des oberen Randes reicht.

Man taucht nun zunächst den mit atmosphärischer Luft gefüllten Cylinder *A* in das mit der erforderlichen Menge Wasser gefüllte Gefäß *B*, öffnet den Hahn des Abflußrohres *b*, so daß die Luft aus der Oeffnung in der Platinplatte entweicht. Sobald das Wasser im Cy-

---

1) Bunsen: Gasometrische Methoden, S. 185. — 2) Dingl. Journ. (1860) 155, 194; Wagner's Jahresber. d. chem. Technolog. 1859, 667; Schilling: Handbuch d. Steinkohlengasbeleuchtung, S. 99.

linder A die untere Marke C trifft, beobachtet man mittelst Secundenuhr die Zeit, welche erforderlich ist, bis das Wasser bis zur oberen Marke C aufgestiegen ist. Nun wird der langsam in die Höhe gehobene Cylinder A durch Rohr a mit Leuchtgas gefüllt und nach Oeffnen des Rohres b durch Senken das Gas wieder ausgetrieben. Ist so durch mehrmaliges Füllen und Entleeren die atmosphärische Luft entfernt, so füllt man mit dem zu untersuchenden Gase und bestimmt die Ausströmungszeit wie bei der Luft. Die Ausströmungszeit der atmosphärischen Luft habe z. B. 285, die des Gases aber 209 Secunden betragen, so ist das specifische Gewicht des Gases $209^2 : 285^2 = 0{,}538$.

Der Apparat ist zur Zeit wohl am meisten im Gebrauch und für praktische Zwecke auch ausreichend. A. Wagner[1]) hält denselben zwar nicht für zuverlässig, ob aber das von ihm angegebene mit feiner Ausströmungsöffnung versehene U-Rohr, sowie der ähnliche Apparat von Plettner[2]) bessere Resultate geben, sei dahingestellt. Noch weniger empfehlenswerth erscheint der ähnliche Apparat von Schinz[3]), etwas umständlich der dem Bunsen'schen ähnliche, mit elektrischer Auslösung versehene von De Negri[4]).

Recknagel[5]) bestimmt das specifische Gewicht durch den Druckunterschied einer 2 m langen Säule von Luft und Gas auf eine Wassersäule. Weit genauer ist das Verfahren von Edelmann[6]), welcher diesen Druckunterschied mittelst eines Prismas mißt, es ist jedoch nur in wohl eingerichteten Laboratorien ausführbar.

Pernot[7]) füllt die zu vergleichenden Gase in das Metallgefäß eines Nicholson'schen Aräometers, um dadurch das Gewicht derselben zu bestimmen. Lipowitz[8]) verwendet hierzu an einer Wage hängende Blechcylinder. Verfasser zieht hierfür einen Glasapparat vor, und zwar der leichteren Füllung wegen einen an beiden Seiten ausgezogenen, mit Glashähnen versehenen dünnwandigen Cylinder (Fig. 212). Ein solcher faßt z. B. 116,3 cc (durch Ausmessen mit Wasser oder Quecksilber bestimmt) und wiegt bei 22,9° und 752 mm mit trockener Luft gefüllt 55,821 g, somit, da nach S. 189 und 191[9]):

$$\frac{116{,}3 \,.\, 752}{760 \,.\, [1 + (0{,}00366 \,.\, 22{,}9)]} = 106{,}2,$$

und da 1 Liter atmosphärische Luft bei 0° und 760 mm 1293,6 mg wiegt, 106,2 cc daher 137,4 mg, das Gefäß leer 55,6836 g. Dasselbe Gefäß mit Leuchtgas gefüllt (zu welchem Zwecke man den oberen Ansatz des senkrechtstehenden

---

1) Dingl. Journ. (1876) **221**, *139; Bayer. Ind. Gewerbebl. 1875, 287. — 2) Dingl. Journ. (1878) **229**, *537. — 3) Wagner's Jahresber. 1869, 744. — 4) Dingl. Journ. (1870) **199**, *182. — 5) Journ. f. Gasbel. 1877, 662; Dingl. Journ. **227**, *82. — 6) Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1881, *1023. — 7) Dingl. Journ. (1851) **119**, 156. — 8) Dingl. Journ. (1860) **156**, *188. —

9)
$$\begin{array}{lcll} \log 116{,}3 & = & 2{,}06558 & \multirow{2}{*}{} \\ \log 752 & = & 2{,}87622 & \big\} \; 4{,}94180 \\ \log 760 & = & 2{,}88081 & \\ \log 1 + 0{,}00366 \,.\, 22{,}9 & = & 0{,}03496 & \big\} \; 2{,}91577 \\ \hline \log V & = & & 2{,}02603 \end{array}$$

Gefäßes mit der Gasleitung verbindet und nach völliger Verdrängung der Luft beide Hähne schließt) wog 55,7435 g, das Leuchtgas selbst somit 59,9 mg, das specifische Gewicht desselben war daher 0,4359. Das Verfahren ist genau und überall da zu empfehlen, wo eine analytische Wage zur Verfügung steht. Hat man das Gewicht des leeren trockenen Gefäßes festgestellt, so genügt für jede neue Bestimmung eine Wägung.

Kohlensäure. Wählert[1]) läßt Kohlensäure und Schwefelwasserstoff durch Aetzkali absorbiren, bestimmt dann in einer durch Ueberleiten über Braunstein von Schwefelwasserstoff befreiten Probe in gleicher Weise die Kohlensäure und berechnet den Gehalt an beiden Gasen aus der Druckabnahme. Das Verfahren hat begreiflicher Weise keinen Beifall gefunden. In entsprechender Weise absorbirt Oechelhäuser[2]) die Kohlensäure mit Kalilauge und berechnet den Kohlensäuregehalt ebenfalls aus der Abnahme der Spannung, während Rüdorff[3]) die Kohlensäure mittelst Kalilauge in derselben Weise bestimmt, wie die Feuchtigkeit der Luft mit Schwefelsäure (S. 179). Da die Alkalilauge eine andere Tension als Wasser hat, so sind diese Verfahren wenig empfehlenswerth.

Fig. 212.



Zur Bestimmung der Kohlensäure im ungereinigten Leuchtgase ist der Apparat Fig. 204 (S. 251), oder bei wissenschaftlich genauen Versuchen der Apparat Fig. 196 (S. 239) zu verwenden. Für gereinigtes Leuchtgas genügt zur Betriebscontrole ebenfalls der Apparat Fig. 204, sonst ist das Verfahren von Mohr (S. 200) oder Pettenkofer (S. 202), oder aber der Apparat Fig. 196 anzuwenden. Enthält hierbei das Gas meßbare Mengen von Schwefelwasserstoff, so ist dieses vor der volumetrischen Bestimmung der Kohlensäure mittelst Kalilauge durch eine Lösung von essigsaurem Blei zu entfernen oder nach gesonderter Bestimmung (S. 274) entsprechend in Abzug zu bringen.

Ammoniak. Der Ammoniakgehalt des Leuchtgases ist meist nicht größer als hinter den Vorlagen 4 bis 10 g, hinter den Condensatoren 2 bis 4 g, hinter den Scrubbern 0,2 bis 0,6 g und im gereinigten Gase 0,01 bis 0,1 g im Cubikmeter; in England sind 0,114 g gesetzlich gestattet. Zur Bestimmung desselben leitet Houzeau[4]) das Gas durch mit Lackmus versetzte verdünnte Schwefelsäure bis zur Neutralisation, Knublauch[5]) verwendet in gleicher Weise verdünnte Schwefelsäure und Rosolsäure als Indicator. Das Verfahren wird dadurch lästig, daß man während des Durchleitens des Gases durch die Säure den Vorgang fortwährend beobachten muß. Es ist daher vorzuziehen, überschüssige Säure anzuwenden und die nicht gesättigte zurückzutitriren.

---

[1]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1868, 58. — [2]) Journ. f. Gasbel. 1866, 339; Schilling: Handbuch, S. *91. — [3]) Poggend. Ann. 125, *71; Wagner's Jahresber. 1865, 757. — [4]) Compt. rend. 76, 52. — [5]) Journ. f. Gasbel. 1881, *153.

Man saugt bei der Untersuchung von gereinigtem Gas etwa 100 Liter desselben durch 20 cc Zehntelnormaloxalsäure (6,3 g Oxalsäure im Liter), welche sich in einer kleinen Pettenkofer'schen Röhre (S. 200) oder einem sonstigen Absorptionsapparate befinden und titrirt die überschüssige Säure mit Zehntelalkali und Dimethylanilinorange als Indicator zurück. 1 cc der gesättigten Säure entspricht dann 1,7 mg Ammoniak. Bei Untersuchung von ungereinigtem Gas verwendet man 50 cc Säure und je nach der erwarteten Ammoniakmenge 10 bis 20 Liter Gas.

F. Tieftrunk[1]) saugt zur Beurtheilung der Scrubberthätigkeit 20 Liter Leuchtgas durch 4 cc Zehntelnormalschwefelsäure und prüft mit Rosolsäure. Färbt sich die Flüssigkeit rosaroth, war die Säure somit gesättigt, so enthielten die 20 Liter Gas mindestens 6,8 mg, 1 cbm somit 0,34 g, welche Tieftrunk für die äußerste zulässige Grenze des Ammoniakgehaltes hinter den Scrubbern hält.

Fig. 213.



Zur Bestimmung des Theeres vor und hinter den Scrubbern verwendet derselbe einen Glascylinder *a* (Fig. 213), dessen im Deckel *b* befestigtes Eingangsrohr *cg* sechs flache Glocken aus dünnem Messingblech trägt, welche mit 1,5 mm weiten Löchern versehen sind. Man füllt das Gefäß halb mit Alkohol von 30 bis 35° Tr., befestigt den Deckel mittelst Klemmschrauben *k* und verbindet Rohr *c* unmittelbar mit der Entnahmestelle. Das Rohr *f* wird mit Watte gefüllt, der bei *e* damit verbundene Reiniger enthält unten Indianafaser und darüber eine Schicht *m* Rasenreinigungsmasse. Das bei *p* entweichende Gas geht durch eine Gasuhr, hinter welcher eine Pumpe das Ansaugen desselben bewirkt. Durch die Waschung wird das Gas seines Theerdampfes dergestalt beraubt, daß die hinter dem Waschapparate *a* eingeschaltete Watte sich in vielen Fällen nicht im mindesten bräunt, was sie sonst in Berührung mit theerhaltigen

---

[1]) Journ. f. Gasbel. 1878, *289; Winkler: Gasanalyse, S. *52, 75 u. *286.

Gasen sehr leicht thut. Nur wenn sehr viel Theer im Gase vorhanden, nimmt die Watte eine geringe Färbung an; man extrahirt sie in diesem Falle mit Schwefelkohlenstoff, um den mit fortgerissenen Theer zur Lösung und Bestimmung zu bringen. Die erhaltene Lösung läßt man in einem gewogenen Gefäße bei gewöhnlicher Temperatur verdunsten, wobei eine Mitverflüchtigung der vorhandenen leichtesten Oele eintritt. Erfahrungsmäßig beträgt das Gewicht der mitverflüchtigten Oele ein Drittel vom Gewicht des erhaltenen Rückstandes und um diesen Betrag hat man letzteres zu vermehren. Uebrigens wird selten mehr als 0,5 Proc. der Gesammttheermenge in die Watte übergeführt und dadurch ein Ausfall im Resultat hervorgebracht, der so gering ist, daß er nur ausnahmsweise in Rechnung gezogen zu werden braucht. In dem dünnen Weingeiste lösen sich anfangs übrigens auch noch andere Gasbestandtheile auf, entbinden sich aber daraus im weiteren Verlaufe der Operation wieder und zwar in dem Maße, als durch Condensation der im Rohgase enthaltenen Ammoniumverbindungen eine concentrirte Salzlösung entsteht. Sind dann 0,25 bis 0,5 cbm Gas hindurchgesaugt, so wird der Theer auf einem Filter gesammelt und gewogen, ferner die Gewichtszunahme des Waschapparates bestimmt, um die Menge des Theeres zu erhalten, welcher an den Messingglocken und Cylinderwandungen haftet. Tieftrunk fand so in 1 cbm Gas vor den Condensatoren 150 bis 200 g Theer, vor den Scrubbern 25 bis 75 und hinter denselben 0,5 bis 20 g Theer.

Schwefel findet sich im Leuchtgase als Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, wahrscheinlich auch Kohlenoxysulfid.

Um zunächst Schwefelwasserstoff qualitativ nachzuweisen, leitet man das Gas durch einen Cylinder, in welchem ein mit essigsaurem Blei getränkter Papierstreifen hängt, dessen Schwärzung die Gegenwart dieser Verunreinigung anzeigt.

Zur quantitativen Bestimmung will es H. Wurtz[1]) durch Kupfersulfat absorbiren. Er läßt das zu untersuchende Gas zunächst zur Bestimmung des Ammoniaks durch ein U-Rohr mit geschmolzenem saurem Kaliumsulfat gehen, dann durch ein Chlorcalciumrohr, um Wasser; durch ein Rohr mit krystallisirtem Kupfervitriol, um Schwefelwasserstoff; durch ein solches mit Natronkalk, um Kohlensäure, und schließlich durch eine ammoniakalische Lösung von Pyrogallussäure, um den Sauerstoff zu lösen. Die Röhren werden vor und nach dem Durchleiten von etwa 200 Liter Leuchtgas gewogen. Das Verfahren hat keinen Beifall gefunden.

Besser ist das Verfahren von Mohr[2]), welcher das Leuchtgas durch Natronlauge streichen läßt, dann arsenigsaures Natrium zusetzt, mit Salzsäure übersättigt und das gefällte Schwefelarsen wiegt, oder aber das gebildete Schwefelnatrium mit Zinklösung titrirt. A. Richter[3]) schüttelt das Gas mit Ammoniakflüssigkeit und titrirt die Lösung mit schwefelsaurem Cadmium; um auch den Schwefelkohlenstoff als Schwefelwasserstoff zu erhalten, wird das Gas über erhitzten Kalk geleitet.

---

[1]) Journ. Franklin Inst. (1875) 69, 146, *218; Americ. Chem. 1875, *315. — [2]) Mohr: Titrirmethode, 4. Aufl. *367 u. 450. — [3]) Dingl. Journ. (1867) 168, *399.

Zur Nachweisung von Schwefelkohlenstoff leitet A. Vogel[1]) das Gas durch alkoholische Kalilauge, verdunstet den Alkohol, säuert mit Essigsäure an und versetzt mit essigsaurem Kupfer, worauf ein gelber Niederschlag von xanthogensaurem Kupfer entsteht. Dasselbe Verfahren hat neuerdings Sloane[2]) empfohlen. Vogel[3]) leitet ferner das Gas über glühendes Kupferblech, löst das gebildete Schwefelkupfer in Salpetersäure und fällt mit Chlorbaryum. Herzog[4]) leitet das Gas durch eine mit essigsaurem Blei versetzte Lösung von Ammoniak in absolutem Alkohol; Schwefelkohlenstoff giebt gelbrothe Färbung bis braunen Niederschlag.

Wird ferner nach L. Thompson[5]) ein schwefelkohlenstoffhaltiges Leuchtgas durch eine alkalische Lösung von Cyanquecksilber geleitet, so entsteht eine weiße Trübung, welche rasch durch Gelb, Braun und Grau in Schwarz übergeht; wird der Niederschlag, so lange er noch weiß ist, ausgewaschen und getrocknet, so explodirt er beim Erwärmen. Es scheint ein Gemisch einer schwefel- und einer cyanhaltigen Verbindung zu sein. Diese Cyanverbindung, welche der Verfasser „Cyanon" nennt, kann auch als Kupfersalz dargestellt werden, welches vielleicht als Ursache der beim Löthen alter Gasometer oft auftretenden Explosionen anzusehen ist. Läßt man den schwarzen Niederschlag stehen, so geht er in die scharlachrothe Verbindung HgS_3CH über.

Das empfindlichste Reagens auf Schwefelkohlenstoff im Leuchtgase ist Triäthylphosphin, welches nach A. W. Hofmann[6]) damit rubinrothe Krystalle gibt. Genaue quantitative Bestimmung des Schwefelkohlenstoffes erscheint zur Zeit noch nicht ausführbar, überdem ist praktisch wichtig auch nur der Gehalt des Leuchtgases an Gesammtschwefel, welcher beim Verbrennen desselben Schwefelsäure und nur zum geringen Theile Schwefligsäure gibt.

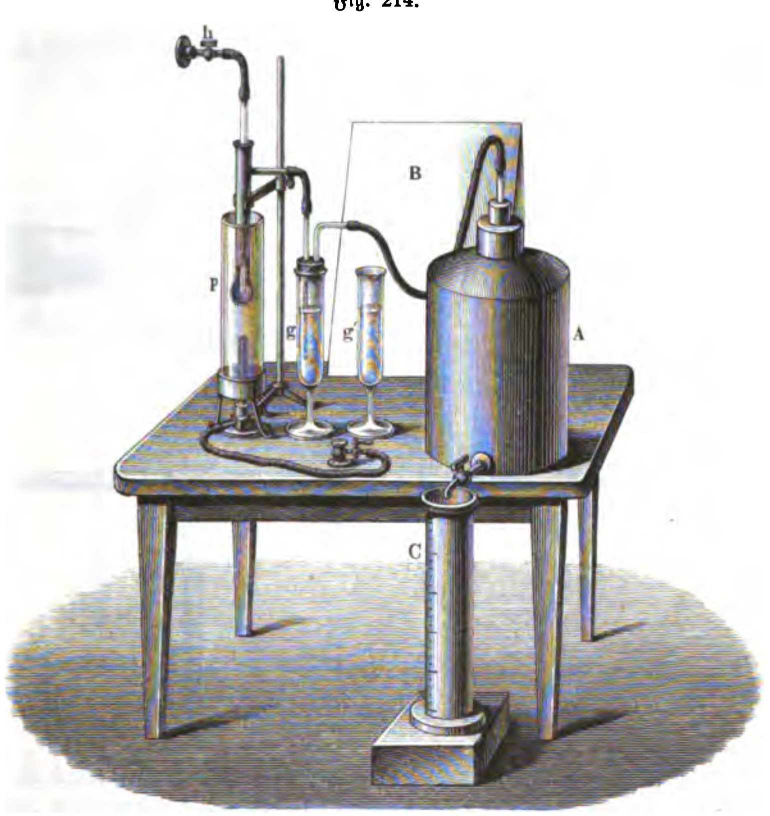
Zur Bestimmung des Gesammtschwefels führt Harcourt[7]) den Schwefelkohlenstoff über erhitztes Platin, wodurch derselbe unter Abscheidung von Kohlenstoff in Schwefelwasserstoff übergeführt wird, und so mit dem bereits vorhandenen zusammen colorimetrisch bestimmt werden kann. Zu diesem Zwecke werden von dem zu untersuchenden Leuchtgase stündlich etwa 14 Liter durch das mit platinirtem Bimsstein gefüllte, gelinde erhitzte Gefäß p (Fig. 214), und dann durch das Bleiacetat enthaltende Gläschen g gesaugt. Das der angesaugten Gasmenge entsprechende, aus dem Aspirator A abfließende Wasser wird im Cylinder C gemessen. Um den Grad der Färbung, welche das durch die in g befindliche Bleilösung strömende Gas in Folge der Ausscheidung von Schwefelblei hervorbringt, messen zu können, stellt man neben g einen zweiten Cylinder g' auf, welcher eine bereits gefärbte Normalflüssigkeit enthält, und bringt hinter beiden den weißen Papierschirm B an. Die Cylinder haben genau gleichen Inhalt und tragen eine

---

[1]) Ann. d. Chem. 86, 369; Wagner's Jahresber. 1860, 603. — [2]) Chem. News (1881) 44, 221. — [3]) Jahresber. d. chem. Technol. 1869, 762. — [4]) Dingl. Journ. (1861), 159, 292; Jahresber. d. chem. Technol. 1860, 603. — [5]) Chem. News (1878) 37, 95. — [6]) Ann. d. Chem. 115, 293; Jahresber. d. chem. Technol. 1860, 603. — [7]) Chem. News 1870, 307; Journ. of Gaslight 1876, *883; Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1871, 744; 1876, 1132.

Marke, bis zu der sie gefüllt werden. Die Normalflüssigkeit wird dem Apparate in versiegelten Flaschen beigegeben und muß vor dem Gebrauche umgeschüttelt werden; sie ist derart bereitet, daß auf eine Cylinderfüllung 0,0187 g Schwefelblei, entsprechend 0,0025 g Schwefel, kommen. Man setzt das Durchleiten des Gases so lange fort, bis der Flüssigkeitsinhalt von *g* genau den Färbungsgrad

Fig. 214.



der Musterflüssigkeit angenommen hat, und mißt hierauf das in den Cylinder *C* ausgeflossene Wasser. Cl. Winkler [1]) empfiehlt als Vergleichsflüssigkeit eine Lösung von Natriumhydrocarbonat mit Nitroprussidnatrium und einer bestimmten Menge von Schwefelnatrium versetzt.

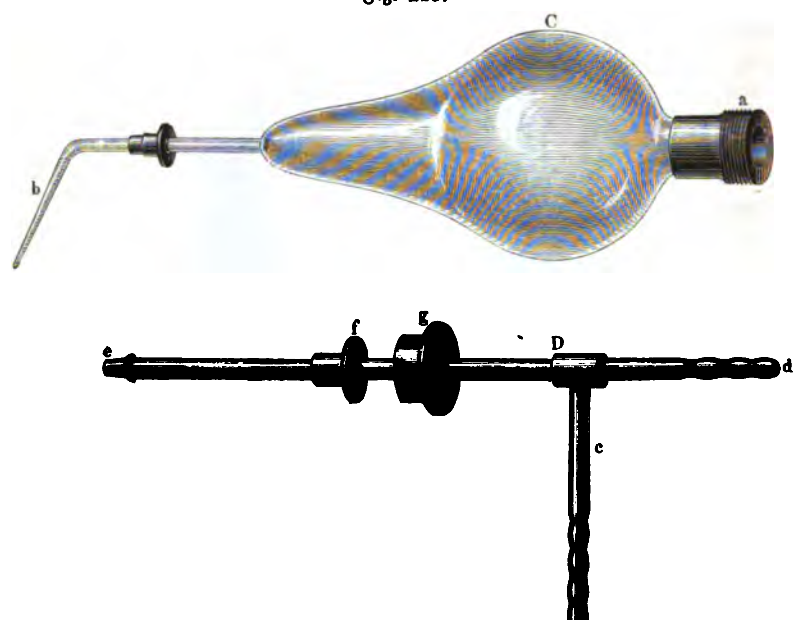
Da das Leuchtgas auch Schwefelverbindungen enthalten kann, welche nicht durch platinirten Bimsstein in Schwefelwasserstoff übergehen, so ist dieses Verfahren wohl als bequeme Betriebscontrole, aber nicht als genaue Bestimmung zu bezeichnen.

---

[1]) Winkler: Industriegase, S. 345.

Hofmann[1]) verbrannte bereits das Gas, oxydirte die in einem Kühler verdichtete Flüssigkeit mit Chlor und fällte die gebildete Schwefelsäure mit Chlorbaryum. Brügelmann[2]) verbrannte dann das Gas im Sauerstoffstrome, absorbirte die gebildete Schwefelsäure durch Kalk, löste in Säuren und fällte ebenfalls mit Chlorbaryum. Graß[3]) verwendete hierzu ein etwa 400 cc fassendes Glasgefäß *C* (Fig. 215) als Verbrennungsraum. Beim Beginn der Verbrennung wird der Daniell'sche Hahn *D* eingeführt, die Platte mit conischem Messingstopfen *f* durch die übergreifende Schraube *g* luftdicht an die Messingfassung *a* angedrückt. Das zu verbrennende Gas wird durch das sich bis fast zur Aus-

Fig. 215.



strömungsspitze *e* fortsetzende Rohr *d*, der erforderliche Sauerstoff durch Rohr *c* zugeführt, während die Absorptionsapparate mit dem Rohre *b* verbunden werden. Der Apparat soll zunächst zur Bestimmung des Kohlenstoff- und Wasserstoffgehaltes des Leuchtgases dienen, ist aber auch zur Bestimmung des Schwefels verwendbar. In entsprechender Weise verbrennt Mixter[4]) das Leuchtgas in einem großen mit Sauerstoff gefüllten Ballon und fällt die gebildete Schwefelsäure als Baryumsulfat.

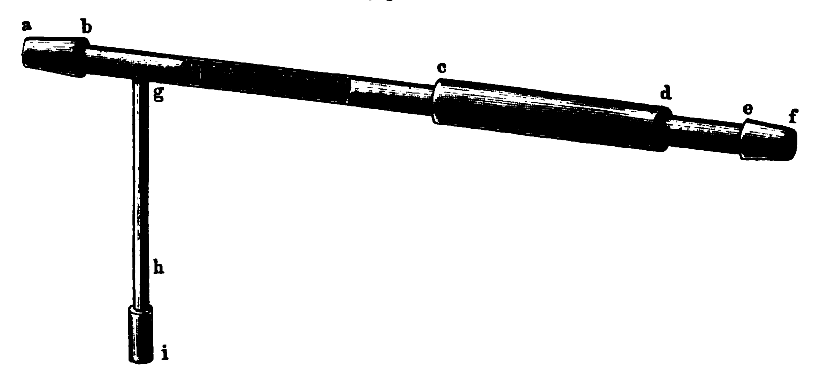
Valentin[5]) leitet das mit Luft gemischte Gas durch ein glühendes Platinrohr, dessen vorderes Ende mit Platindraht und Platinschwamm gefüllt ist, wäh-

---

[1]) Ann. d. Chem. **115**, 293; Dingl. Journ. (1860) **158**, 22. — [2]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1876, *175; 1877, 24; Wagner's Jahresber. 1876, 1133. — [3]) Journ. f. prakt. Chem. **102**, *257; Wagner's Jahresber. 1867, *763. — [4]) Americ. Chem. Journ. 1880, 244. — [5]) Chem. News 1868, 89, 292.

rend das hintere erweiterte Ende den zur Absorption der gebildeten Schwefelsäure dienenden Natronkalk enthält, welcher in Säure gelöst und mit Chorbaryum gefällt wird. F. Tieftrunk[1]) verwendet in gleicher Weise ein Platinrohr (Fig. 216). Der Rohrtheil *ac* dient zur Aufnahme der mit Platinschwamm gefüllten Platinnetzröhre, während die Erweiterung *cd* das Absorptionsmittel aufnimmt. An Stelle des von Valentin vorgeschlagenen Natronkalkes verwendet Tieftrunk chemisch reine Potasche, weil ersterer aus keiner Bezugsquelle schwefelsäurefrei zu erhalten war. An die beiden Ansätze *be* des im Gasofen *E* (Fig. 217 a. f. S.) liegenden Platinrohres *D* fügt derselbe die Messingröhren *C* und *F* auf Trägern *G*, um dadurch schädlicher Wirkung der Wärme auf die Kork- und Kautschukverbindungen vorzubeugen. Die Verbrennungsluft soll das 8- bis 10fache vom Volum des Gases betragen beim Verbrennen von Leuchtgas aus westphälischen und schlesischen Kohlen, während man bei Gas aus englischen

Fig. 216.



Kohlen nicht wohl weniger als das 10fache Luftvolumen anwenden darf. Weicht man von dem vorgeschriebenen Verhältnisse ab, so kann es vorkommen, daß nicht sämmtliche gebildete Schwefelsäure zur Absorption gelangt. Aus diesem Grunde ist es nöthig, nicht allein das zur Untersuchung gelangende Gas, sondern auch die zu seiner Verbrennung dienende Luft zu messen. In Gasuhr *A* gelangt das Leuchtgas zur Messung und tritt von da durch einen Mikrometerhahn, der eine genaue Regelung seines Ausflusses gestattet, in den seitlichen Rohransatz der vorher zum Glühen erhitzten Platinröhre ein. Hier trifft es mit dem Luftstrome zusammen, der durch das eine Ende dieser Röhre zugeführt wird. Die zuströmende Luft wird im Gaszähler *B* gemessen, geht hierauf durch den Waschthurm *J*, welcher mit Glasbrocken gefüllt ist, über die alkalische Bleizuckerlösung fließt und in welchem die in der Atmosphäre der Gasanstalten stets vorhandenen geringen Mengen Schwefelwasserstoff zurückgehalten werden, und gelangt endlich im Chlorcalciumcylinder *K* zur Trocknung. Beim Zusammentritt beider Gase erfolgt nun in Gegenwart des glühenden Platinschwammes eine vollkommene Verbrennung, der Schwefelgehalt des Leuchtgases wird zu Schwefelsäure oxydirt und diese von

[1]) Winkler: Industriegase, S. *206.

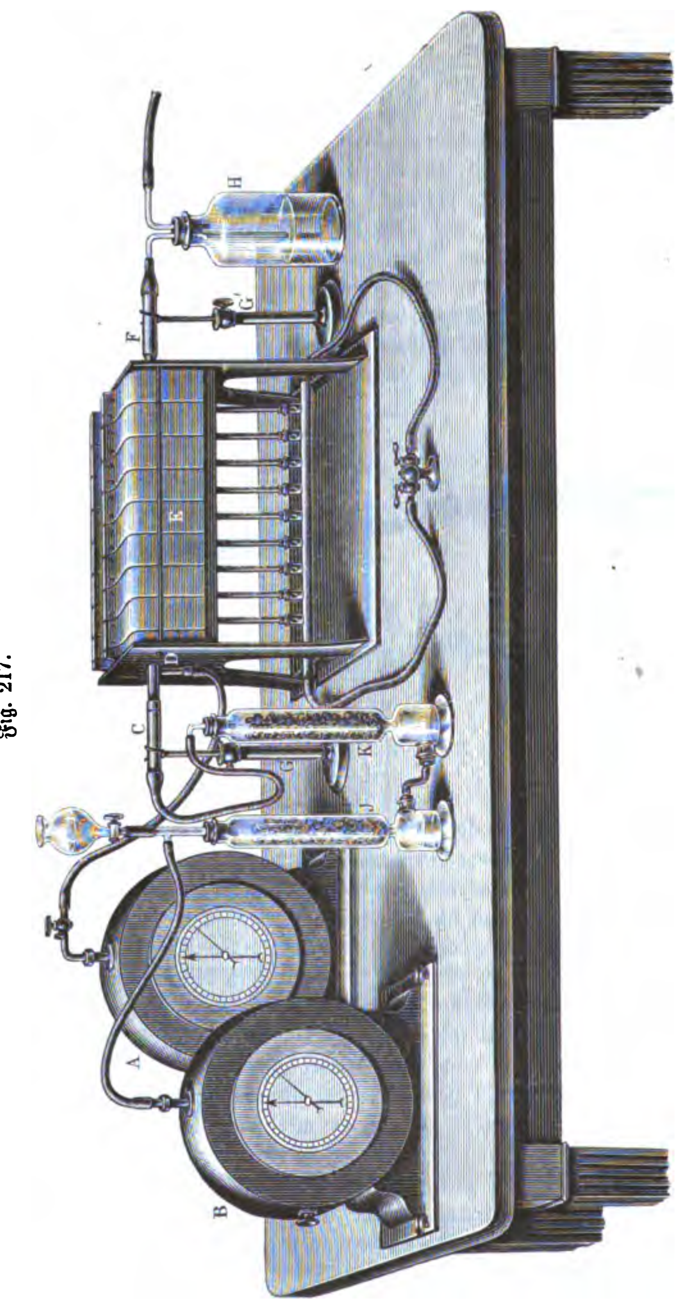
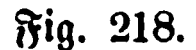
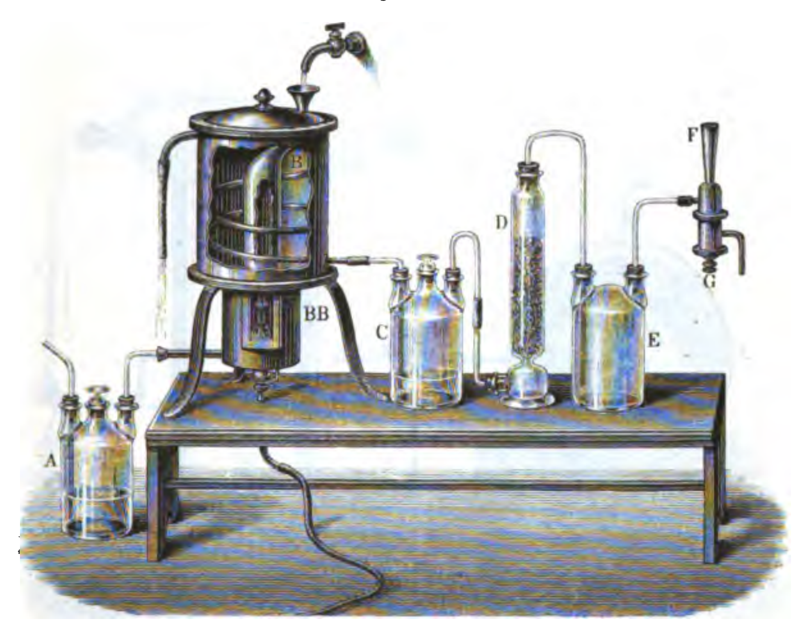


Fig. 217.

der eingeschalteten Pottaschenschicht vollkommen aufgenommen. Um sich jedoch für jeden Fall zu vergewissern, daß keine Schwefelsäure entweicht, wird an das Austrittsrohr *F* eine etwa 18 cm hohe, zu einem Drittel mit Wasser gefüllte Wasserflasche *H* angefügt, in deren Inhalt sich bei normalem Gange der Verbrennung nach Beendigung des Versuchs niemals Schwefelsäure oder Schwefligsäure vorfinden darf. Das Ausgangsrohr dieser Flasche endlich steht durch einen Kautschukschlauch mit einem Finkener'schen Sauger in Verbindung, welcher in der Abbildung weggelassen worden ist.

Evans[1]) saugt die zur Verbrennung erforderliche Luft mittelst der durch *G* regulirbaren Wasserstrahlluftpumpe *F* (Fig. 218) durch die mit Kalilauge


Fig. 218.



halb gefüllte Flasche *A* und den Raum *BB*, in welchem das durch eine Gasuhr gemessene Leuchtgas in einem Bunsen'schen Brenner verbrannt wird. Die Verbrennungsgase treten in das durch Wasser gekühlte, etwa 50 mm weite, sich nach oben stark verjüngende und schließlich nach unten spiralig gewundene Rohr *B*, dann in die Flasche *C*, welche Ammoniakflüssigkeit enthält. Um auch den letzten Rest der gebildeten Schwefelsäure zurückzuhalten, gehen die Gase noch durch den mit befeuchteten Glasstücken gefüllten Cylinder *D* und die leere Flasche *E*. Sind 3 bis 5 cbm Gas verbrannt, so schließt man den Gashahn und die Pumpe *F* ab, spült den Inhalt der Vorlagen *C*, *D* und *E* in einen Meßkolben, füllt bis zu einem bestimmten Volumen auf, säuert einen abgemessenen Theil der Flüssig-

[1]) Wagner's Jahresber. f. chem. Technol. 1863, *720; Dingl. Journ. 171, *127.

keit mit einem Gemisch aus 1 Thl. Salzsäure und 2 Thln. Salpetersäure an, verdampft bis fast zur Trockne und fällt schließlich mit Chlorbaryum.

Wo man keine Wasserstrahlluftpumpe zur Verfügung hat, ist das Verfahren von Letheby[1]) vorzuziehen. Derselbe führt das in der Gasuhr *A* (Fig. 218) gemessene Leuchtgas durch den Druckregulator *B* zum Brenner *G*. Unter demselben steht ein kleines Becherglas *H* mit concentrirter Ammoniakflüssigkeit, bedeckt mit einem Trichter *J*, welcher in ein Zinnröhrchen ausmündet, um der Flamme Ammoniakdämpfe zuzuführen. Man zündet das Gas an, setzt das Trichterrohr *E* auf, welches oben in den 350 mm langen und 112 mm weiten Glascylinder *C* ragt. Hier verdichtet sich mit einem großen Theile des gebildeten Wassers das

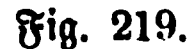


Fig. 219.

schwefelsaure und schwefligsaure Ammonium, während die übrigen Gase durch Rohr *D* entweichen. Die weitere Behandlung der in *C* condensirten Flüssigkeit geschieht in derselben Weise wie bei Evans.

In ähnlicher Weise verbrennen Sadler und Sillimann[2]) das Leuchtgas mit Luft, bestimmen dann aber die gebildete Schwefelsäure und Schwefligsäure alkalimetrisch. Das Verfahren ist weniger genau.

Gereinigtes Leuchtgas enthält im Cubikmeter nicht selten nur 0,2 bis 0,4 g Gesammtschwefel; im Londoner Gas sind 25 Grains für 100 Cubikfuß oder

---

[1]) Journ. f. Gasbel. 1863, *353; 1871, *24; Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1863, *720. — [2]) Engineer (August) 1877, *101.

0,57 g im Cubikmeter gestattet. Man muß daher zur Erlangung genauer Resultate etwa 50 bis 100 Liter gereinigtes Gas verbrennen, so daß die Verfahren, welche Sauerstoffgas oder doch eine fortwährende Aufsicht erfordern, weniger bequem sind. Um nun auf möglichst einfache Weise zuverlässige Resultate zu erhalten, verwendet Verfasser den in Fig. 220 in $^1/_{10}$ natürlicher Größe dargestellten Apparat. Unter möglichster Vermeidung von Gummiverbindungen wird das genau gemessene Gas zu dem auf einer Holz- oder Korkplatte befestigten Glasrohre *b* geführt, über dessen Ausströmungsspitze ein weiteres Glasrohr *e* in einem einfachen Halter verschiebbar angebracht ist, so daß die ganze Vorrichtung einen gläsernen Bunsenbrenner darstellt. Die Gaszufuhr wird so geregelt, daß stündlich 15 bis 20 Liter zur Verbrennung kommen. Ueber dem mehrfach rechtwinklig gebogenen Rohre *c* ist ein kleines Tropfgefäß *a* mittelst eines Halters befestigt, aus welchem man eine unter Abkühlen hergestellte Lösung von 2 Thln. schwefelsäurefreiem Kali, etwa 10 Thle. Wasser und 1 Thl. Brom so langsam eintropfen läßt, daß stündlich etwa 2 ccm derselben in dem Rohre *c* herunterfließen, um auch die letzten Reste der gebildeten Schwefelsäure und Schwefligsäure aus den aufsteigenden Verbrennungsgasen zu absorbiren. Sind so etwa 100 Liter Gas verbrannt, so nimmt man die Rohre *B* und *c* ab, spült dieselben mit etwas Wasser aus, bringt den Inhalt der Flasche *A* sammt Waschwasser in einem Becherglase zum Sieden, säuert mit Salzsäure an und fällt mit Chlorbaryum. 233 Thle. schwefelsaures Baryum entsprechen 32 Thln. Gesammtschwefel.

Fig. 220.



Tabelle A.

Nr.		Schwere Kohlenwasserstoffe	Methan, CH_4	Wasserstoff	Kohlenoxyd, CO	Kohlensäure, CO_2	Stickstoff	Sauerstoff	Die schweren Kohlenwasserstoffe sind äquivalent C_2H_4
1	Engl. Gesellschaft in Frankfurt, Februar 1862 . . .	4,95	36,92	49,13	6,34	—	2,55	0,11	—
2	Desgl., März 1862	4,66	36,87	49,22	4,76	—	3,97	0,52	—
3	Frankfurter Gesellschaft, December 1861	16,69	38,65	19,85	17,64	1,54	4,03	1,60	—
4	Desgl., Januar 1862	18,53	40,33	18,79	18,65	0,42	1,81	1,47	—
5	Imperial Co., Mai 1876 . .	4,18	36,57	40,82	6,97	—	9,73	1,91	7,96
6	Chartered Co.	4,41	38,39	50,59	3,13	—	3,48	Spur	7,85
7	Desgl.	3,22	36,95	50,28	4,37	—	4,98	0,22	6,34
8	Desgl.	4,11	34,49	50,62	6,96	—	3,22	0,60	6,49
9	Desgl.	4,08	35,89	50,68	3,98	Spur	4,93	0,26	6,65
10	Desgl.	4,12	39,36	43,99	6,42	Spur	5,40	0,40	6,82
11	Parlamentshaus (Cannel) . .	8,72	41,88	41,72	4,98	—	2,71	—	19,66
12	Newcastle-Kohlen	3,87	32,87	50,05	12,89	0,32	Spur	Spur	—
13	Desgl.	3,05	41,50	47,60	7,32	0,53	—	—	6,97
14	Desgl. und Cannel	3,56	35,28	51,24	7,40	0,28	0,44	1,80	7,21
15	Chartered Co.	3,53	35,25	51,81	8,95	—	0,08	0,38	7,70
16	Hulton Cannel	5,50	40,12	45,74	8,23	0,41	Spur	Spur	—
17	Wigan Cannel	10,81	41,99	35,94	10,07	1,19	Spur	Spur	—
18	Newcastle Cannel	9,68	41,38	33,30	15,64	—	—	—	—
19	Methyl Cannel	14,48	38,75	33,32	13,40	0,05	Spur	Spur	—
20	Newcastle Cannel	13,06	51,20	25,82	7,85	0,13	1,94	1,94	—
21	Lesmahago Cannel	16,31	42,01	26,84	14,18	0,66	Spur	Spur	—
22	Boghead Cannel	24,50	58,38	10,54	6,58	—	—	—	—
23	Breslauer Gas	4,56	32,00	49,07	4,70	2,78	6,46	0,43	—
24	Desgl.	4,85	30,80	53,13	6,75	2,12	1,93	0,42	—
25	Desgl.	4,66	31,24	49,44	10,52	3,06	1,08	0	—

Tabelle B.

Nr.		Aethylen, C_2H_4	Butylen, C_4H_8	Methan, CH_4	Wasserstoff	Kohlenoxyd, CO	Kohlensäure, CO_2	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefelwasserstoff
1	Cannelgas	4,08	2,38	34,90	45,58	6,64	3,67	2,46	—	0,29
2	Heidelberger Gas	4,04	3,15	40,56	39,30	4,95	—	8,00	—	—
3	Desgl.	5,10	2,18	40,71	41,04	7,64	0,58	2,75	—	—
4	Desgl.	4,13	3,14	38,40	44,00	5,73	0,37	4,23	—	—
5	Desgl.	5,00	4,34	38,30	41,37	5,56	—	5,43	—	—
6	Engl. Kohlen, Königsberg .	3,88	2,96	36,52	49,04	5,57	1,07	0,96	—	—
7	Desgl.	3,91	2,99	39,93	45,08	4,84	0,30	2,95	0	—
8	Saarkohlen, Heidelberg . .	4,16	2,96	34,81	48,02	5,21	2,44	2,40	0	—

Wasserstoff, Kohlenoxyd und die Kohlenwasserstoffe wurden zuerst von R. Bunsen[1]) zuverlässig bestimmt, und zwar in der S. 253 erörterten Weise, jedoch wurden die durch rauchende Schwefelsäure absorbirten schweren Kohlenwasserstoffe auf Elayl (Aethylen, C_2H_4) und Ditetryl (Butylen, C_4H_8) berechnet. Die Analyse des aus Cannelkohle bereiteten Leuchtgases einer Gasfabrik zu Manchester ergab darnach die in Tabelle B (Analyse 1) angegebene Zusammensetzung. In derselben Weise untersuchte Landolt[2]) Heidelberger Leuchtgas zu verschiedenen Zeiten (2 bis 5), Blochmann[3]) Königsberger und Heidelberger Gas (6 bis 8). Auch Frankland[4]) untersuchte so Leuchtgas aus verschiedenen englischen Kohlen (Tabelle A, 12 bis 22) und S. Humpidge[5]) Londoner Leuchtgas, welches er an verschiedenen Stellen den Leitungen entnahm (5 bis 11). Für die durch Schwefelsäure absorbirbaren Kohlenwasserstoffe nahmen sie die allgemeine Formel C_nH_m an, und zwar ergab sich die Anzahl der Kohlenstoffatome *n* aus dem bei der Verbrennung derselben mit Sauerstoff entstehenden Volumen Kohlensäure nach der Gleichung $C_n + nO_2 = nCO_2$. Zu diesem Zwecke wurden aus 100 Vol. Gas die schweren Kohlenwasserstoffe entfernt, der Gasrückstand wurde mit Sauerstoff verbrannt und die gebildete Kohlensäure gemessen. Dann wurden 100 Vol. des ursprünglichen Gases mit Sauer-

[1]) Gasometrische Methoden 1857, S. 114. — [2]) Ann. d. Chem. 111, 259; Wagner's Jahresber. 1859, 669. — [3]) Journ. f. Gasbel. 1873, 351. — [4]) Jahresber. d. Chem. 1851, 723; Schilling: Handbuch, S. 89. — [5]) Journ. Chem. Soc. (1877) 1, 621.

stoff verbrannt und die gesammte Kohlensäure gemessen, so daß sich die bei der Verbrennung der schweren Kohlenwasserstoffe entstandene Menge Kohlensäure aus der Differenz beider Bestimmungen ergab, welche durch den Procentgehalt an schweren Kohlenwasserstoffen dividirt den Werth von n gibt. Das Aequivalent dieser Kohlenwasserstoffe an Aethylen (C_2H_4) ergibt sich, wenn man n = 2 setzt. Während daher nach Berthelot (S. 285) die Leuchtkraft des Pariser Gases von Benzoldampf herrührt, muß das Londoner Gas beträchtliche Mengen andere, durch rauchende Schwefelsäure absorbirbare Bestandtheile enthalten, da die Anzahl der in 1 Mol. Benzol enthaltenen Kohlenstoffatome = 6 ist, während in den erwähnten Analysen n im Mittel 3,6 beträgt und nie 4,5 übersteigt.

In entsprechender Weise untersuchte ferner J. Löwe[1]) das Leuchtgas der Imperial-Continental-Gas-Association in Frankfurt a. M. (1.2) und der neuen Frankfurter Gasbereitungsgesellschaft (3.4), Biefel und Poleck[2]) Breslauer Gas (23 bis 25).

Schon Faraday[3]) fand in den Condensationsproducten des Leuchtgases Benzol und Butylen. Pitschke[4]) erhielt beim Durchleiten von Leuchtgas durch rauchende Salpetersäure Nitrobenzol, worauf Caro und Clemm[5]) ein Verfahren zur Gewinnung von Benzol aus Leuchtgas gründeten, nachdem Blochmann[6]) Benzol durch starkes Abkühlen von Leuchtgas und Silberschmidt[7]) durch Abkühlen von Bogheadgas Benzol, Toluol, Xylol, Anilin und etwas Phenol erhalten hatte. Berthelot[8]) fand im Pariser Leuchtgas sogar so große Mengen Benzoldampf, daß er diesem fast die ganze Leuchtkraft des Gases zuschreibt.

Berthelot bestimmt nun die Homologen des Aethylens und Acetylens mit mehr als 2 Atomen Kohlenstoff dadurch, daß er das von Ammoniak, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Sauerstoff, Schwefelkohlenstoff und Kohlenstoffoxysulfid, die beiden letzteren mittelst einer in Alkohol getauchten Kalikugel, befreite und getrocknete Gas über Quecksilber mit $^1/_{20}$ seines Volumens concentrirter Schwefelsäure eine Minute lang bewegt. Propylen, Allylen, Butylen, Crotonylen, Diacetylen, Amylen, Valerylen, Hexylen u. s. w., auch etwas Acetylen werden hierbei absorbirt, theils als Aetherschwefelsäuren, theils durch Polymerisation. Die nach Fortnahme der gebildeten Schwefligsäure mittelst Kalikugel erhaltene Volumverminderung ergibt die Gesammtmenge dieser Gase. Das so behandelte Gas wird in einem durch eingeschliffenen Stöpsel verschlossenen Glase mit $^1/_{10}$ seines Volumens concentrirter Schwefelsäure $^3/_4$ Stunden lang kräftig geschüttelt, und der nunmehr von Aethylen und Acetylen befreite Rückstand gemessen; letzteres muß vorher durch ammoniakalische Kupferchlorürlösung bestimmt werden.

Das von den genannten Kohlenwasserstoffen befreite Gas wird über Wasser

---

[1]) Jahresber. d. physik. Ver. Frankfurt 1877, S. 53. — [2]) Zeitschr. f. Biolog. 1880, 279; Wagner's Jahresber. 1880, 906. — [3]) Philos. Transact. 1825. — [4]) Journ. f. prakt. Chem. 67, 415. — [5]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1869, 563, 763. — [6]) Journ. f. Gasbel. 1861, 193. — [7]) Journ. f. Gasbel. 1862, 350. — [8]) Compt. rend. 82, 871 u. 927; 83, 1256; 84, 571; Bull. soc. chim. 26, 105; 27, 155; Ann. chim. phys. (4) 9, 440; 13, 137; 20, 448; Wagner's Jahresber. 1876, 1121.

gemessen und das **Benzol** mittelst rauchender Salpetersäure bestimmt. Zu diesem Zwecke füllt man ein etwa 20 ccm fassendes Glas, dessen Inhalt genau bekannt ist, über Wasser mit dem Gase, bringt ein Röhrchen mit rauchender Salpetersäure hinein, verschließt, schüttelt, absorbirt nach einiger Zeit die Säuredämpfe mit Kali und mißt. Zur Controle dieser Bestimmungen läßt man auf eine von Kohlensäure und Schwefelwasserstoff befreite Probe des ursprünglichen Leuchtgases Brom einwirken. Die nach einigen Minuten eingetretene Volumverminderung entspricht der Gesammtmenge der bisher bestimmten Kohlenwasserstoffe und des Schwefelkohlenstoffes.

Die längere Zeit mit Schwefelsäure oder mit Brom behandelten Gase werden zweimal mit ihrem halben Volum saurer Kupferchlorürlösung gewaschen, um hierdurch das **Kohlenoxyd** zu bestimmen. Durch Verbrennung des rückständigen Gases erhält man schließlich die Menge des vorhandenen Wasserstoffes und der Kohlenwasserstoffe $C_n H_{2n+2}$.

Berthelot fand so, daß aus Pariser Leuchtgas, welches 1,6 Proc. Wasser enthielt, Schwefelsäure nur 1,8 Proc. absorbirte, so daß nur 0,2 Proc. durch Schwefelsäure absorbirbare Kohlenwasserstoffe, Propylen, Allylen, Crotonylen u. s. w., vorhanden waren. Aus diesem Gasrückstande absorbirte Brom noch 3,5 Proc., so daß, da rauchende Salpetersäure vom ursprünglichen Gase 3,5 Proc. absorbirte, Acetylen, Aethylen und andere Kohlenwasserstoffe, welche nicht durch rauchende Salpetersäure oder Schwefelsäure, wohl aber durch Brom absorbirt werden, in dem Pariser Leuchtgase nur in sehr geringer Menge vorhanden sind. Außer Benzoldampf sind wahrscheinlich noch geringe Mengen von Kohlenwasserstoffen der Sumpfgasreihe ($C_n H_{2n+2}$) mit höherem Kohlenstoffgehalte vorhanden. Als ferner 100 cbm Leuchtgas durch mit gleichen Theilen Wasser verdünnte Schwefelsäure geleitet wurden, ergaben sich etwa 4 g einer theerigen Masse, welche durch polymere Condensation aus Diacetylen und ähnlichen Kohlenwasserstoffen, und 0,25 g Aceton, welche aus Allylen, C_3H_4, entstanden sind. Ueber mit concentrirter Schwefelsäure befeuchtete Bimssteinstückchen geleitet wurden 265 Kohlenwasserstoffe erhalten, bestehend aus:

Benzol und etwas Toluol	2	Proc.
Mesitylen, C_9H_{12} (160 bis 170°)	5	„
Cymol, $C_{10}H_{14}$ (gegen 180°)	20	„
Tricotonylen, $C_{12}H_{18}$ (220 bis 240°) . . .	30	„
Colophen, $C_{15}H_{24}$ (300 bis 320°)	32	„
Fester Rückstand	5	„

Das Mesitylen ist nach **Berthelot** unter dem Einflusse der Schwefelsäure aus dem Allylen gebildet, $3\,C_3H_4 = C_9H_{12}$. Das Cymol ist durch Einwirkung der Schwefelsäure auf ein Tereben, $C_{10}H_{16}$, gebildet, welches selbst durch Condensation eines Kohlenwasserstoffes, C_5H_8, entstanden ist, $2\,C_5H_8 = C_{10}H_{16}$. Dieser leichtflüchtige Bestandtheil des Leuchtgases ist das Teren oder Propylacetylen ($C_3H_6 . C_2H_2$), dem Allylen (Methylacetylen) und dem Crotonylen (Aethylacetylen) homolog. Das Tricotonylen wird von rauchender Salpetersäure wie Benzol gelöst und stimmt mit diesem in den allgemeinen Reactionen überein. Es steht zu dem isomeren Triäthylbenzol in derselben Beziehung wie das Triallylen zum

Trimethylbenzol. Das Tricotonylen, welches sich voraussichtlich auch im Steinkohlentheer findet, wird durch Polymerisation des Crotonylens durch Schwefelsäure entstanden sein, $3\,C_4H_6 \, . \, C_{12}H_{18}$. Das Colophen oder Triteren verhält sich wie das gewöhnliche Colophen und ist durch Polymerisation aus dem Teren entstanden, $3\,C_5H_8 = C_{15}H_{24}$. Das Pariser Leuchtgas enthält demnach an lichtgebenden, von Brom absorbirbaren Bestandtheilen

Benzoldampf, C_6H_6	3,0 bis 3,5 Proc.	
Acetylen, C_2H_2, etwa	0,1 „	
Aethylen, C_2H_4	0,1 bis 0,2 „	
Propylen, C_3H_6	0,00025	0,01815 Proc.
Allylen, C_3H_4	0,0008	
Butylen, C_4H_8, u. Analoga	Spuren	
Crotonylen, C_4H_6	0,0031	
Teren, C_5H_8	0,0042	
Kohlenwasserstoffe, in hochsiedende Polymere verwandelt, etwa	0,0083	
Diacetylen u. Analoga	0,0015	

Diese Verbindungen sind nach Berthelot theils directe Producte der trockenen Destillation, theils aus Sumpfgas und anderen Kohlenwasserstoffen bei Rothglut gebildet. Er hat gezeigt, daß das Sumpfgas (CH_4) Aethylen, Propylen, vielleicht die ganze Reihe der polymeren Kohlenwasserstoffe bildet, das Acetylen aber Benzol und eine ganze polymere Reihe $(C_2H_2)_n$. Ferner geben Acetylen und Benzol Styrol, C_8H_8, Acetylen und Styrol Naphtalin, $C_{10}H_8$, Acetylen und Naphtalin das Acenaphten, $C_{12}H_{10}$, Styrol mit Benzol aber Anthracen, $C_{14}H_{10}$; sämmtliche Kohlenwasserstoffe finden sich im Steinkohlentheer, in sehr geringen Mengen können sie auch im Leuchtgase vorkommen. Ferner geben bei Rothglut Acetylen und Aethylen Crotonylen: $C_2H_2 + C_2H_4 = C_4H_6$, Acetylen und Propylen das Propylacetylen: $C_2H_2 + C_3H_6 = C_5H_8$, wahrscheinlich identisch mit dem Teren des Leuchtgases.

Spätere Versuche bestätigten, daß das Pariser Leuchtgas seine Leuchtkraft vorwiegend dem Benzol verdankt, während Aethylen sehr zurücktritt. Berthelot überzeugte sich aber gleichzeitig, daß rauchende Salpetersäure nicht, wie er früher angenommen, nur den Benzoldampf, sondern auch die in nur geringer Menge vorkommenden Kohlenwasserstoffe Propylen, Allylen u. s. w. löst, Aethylen aber langsam absorbirt. Ferner löst concentrirte Schwefelsäure auch den Benzoldampf, sie kann daher nicht, wie er früher annahm, zur Trennung des Benzoldampfes vom Aethylen, Propylen u. dergl. verwendet werden. Schwefelsäure der Formel $H_2SO_4 \, . \, H_2O$ (specif. Gew. 1,786) nimmt aber selbst nach längerem Schütteln weder Benzol noch Aethylen auf, löst dagegen innerhalb 3 Minuten das Propylen und in 25 Minuten das Acetylen.

W. Dittmar[1]) fand ebenfalls, daß rauchende Salpetersäure auch Aethylen absorbirt und daß die Trennung des Benzols von den übrigen Kohlenwasserstoffen weder durch Salpetersäure noch durch fette Oele oder Paraffinöle gelingt.

---

[1]) Journ. f. Gasbel. 1876, 758.

Akestorides[1]) erhielt beim Durchleiten von Leuchtgas durch rauchende Salpetersäure Oxalsäure, Nitrobenzol (205°), wenig Nitrotoluol (222°) und bei 300° siedende Nitroverbindungen, wahrscheinlich vom Naphtalin abstammend. Benzol giebt mit Salpetersäure keine Oxalsäure, Toluol und Xylol aber dagegen neben den Nitroverbindungen Oxalsäure; Aethylen wird unter Bildung von Oxalsäure und Abscheidung sehr geringer Mengen von Kohlenoxyd gelöst.

R. Bunsen[2]) leitet zur Auffindung der bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Kohlenwasserstoffe das durch Chlorcalcium getrocknete Leuchtgas durch absoluten Alkohol und gießt diesen dann in einen großen Ueberschuß von Kochsalzlösung, worauf sich Benzol u. dergl. abscheiden und abgehoben werden können. 3 cbm Heidelberger Leuchtgas gaben so 36 g einer aus fast reinem Benzol bestehenden Flüssigkeit. Er absorbirt nun bei der quantitativen Untersuchung des Leuchtgases die Kohlensäure und den Sauerstoff mittelst Kali und Pyrogallussäure (S. 193), bringt dann in einen Theil der übrig gebliebenen trocknen Gasprobe eine Kokskugel, welche mit einer möglichst gesättigten, jedoch noch flüssigen Lösung von Schwefelsäureanhydrid in Schwefelsäure getaucht ist, um Elayl, Propylen und Benzol zu absorbiren und bestimmt in dem Reste des übrig gebliebenen Gases in der S. 253 erläuterten Weise Wasserstoff, Methylen, Kohlenoxyd und Stickstoff. Nun wird die von Kohlensäure und Sauerstoff befreite, aber nicht mit Schwefelsäure behandelte Restprobe in gleicher Weise mit Sauerstoff verbrannt und Contraction und Kohlensäure bestimmt. Aus der Differenz beider Bestimmungen wird der Gehalt an Elayl, Propylen und Benzol berechnet (vgl. S. 290). Es ergab sich so folgende Zusammensetzung:

	Heidelberger Gas	Königsberger Gas
Aethylen, C_2H_4	2,55	2,01
Propylen, C_3H_6	1,21	0,72
Benzol, C_6H_6	1,33	0,66
Methan, CH_4	34,02	35,28
Wasserstoff	46,20	52,75
Kohlenoxyd, CO	8,88	4,00
Kohlensäure, CO_2	3,01	1,40
Stickstoff	2,15	3,18
Sauerstoff	0,65	—

In gleicher Weise von Blochmann[3]) untersuchtes Königsberger Leuchtgas enthielt nach obiger Analyse noch weniger Benzol.

[1]) Journ. f. prakt. Chem. (1877) 15, 62. — [2]) Gasometrische Methoden, S. 137. — [3]) Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1881, 1041.

Knublauch[1]) will den Gehalt des Leuchtgases an Benzol und Aethylen photometrisch bestimmen. Da die Leuchtkraft des Gases nicht nur von diesen Stoffen, sondern von seiner gesammten Zusammensetzung und sonstigen Umständen abhängt, so kann ein solches Verfahren nicht einmal annähernd richtige Resultate ergeben.

Der quantitativen Bestimmung der Kohlenwasserstoffe eines unbekannten Leuchtgases hat wo möglich eine qualitative Untersuchung voranzugehen.

Die Kohlenwasserstoffe der Reihe C_nH_{2n} vereinigen sich mit Brom zu Aethylenbromür, $C_2H_4Br_2$, u. s. w., sowie mit concentrirter Schwefelsäure. Eine genaue Trennung derselben, selbst ihr sicherer Nachweis in manchen Gasgemischen, erscheint zur Zeit noch nicht ausführbar; wie weit sich hierzu die Behandlung großer Gasmengen mit Schwefelsäure (S. 286) oder die Bestimmung der Absorptionscoefficienten[2]) eignet, müssen weitere Versuche lehren. Caprorylen (C_6H_{12}) ist bis jetzt nur im Leuchtgase von Bogheadkohle nachgewiesen.

Die Reihe C_nH_{2n-2} ist vertreten durch das Acetylen, C_2H_2. Es ist nach Böttger[3]) leicht nachzuweisen durch den rothen Niederschlag von Acetylenkupfer, welcher beim Durchleiten des Leuchtgases durch ammoniakalische Kupferchlorürlösung entsteht. Landolt[4]) erhitzte das abfiltrirte Acetylenkupfer mit Schwefelsäure und bestimmte das entwickelte Acetylen maßanalytisch; er fand so im Bonner Leuchtgase 0,07 Proc. Nach Blochmann[5]) entspricht das Acetylenkupfer der Formel $Cu_2C_2H_2O$, enthält dementsprechend 75,15 Proc. Kupfer; er berechnet aus dem Kupfergehalte des aus dem Königsberger Leuchtgase erhaltenen Niederschlages einen Gehalt desselben von 0,063 Proc. Acetylen, während Verfasser in gleicher Weise im hannoverschen Leuchtgase nur 0,05 Proc. fand. Die flüssigen Kohlenwasserstoffe, Benzol und dergl., werden passend mittelst absoluten Alkohols (S. 287) nachgewiesen, bei Ausführung des Versuches im Sommer empfehle ich die mit Alkohol gefüllten Absorptionsgefäße mit Eis zu kühlen. 2,1 cbm hannoversches Leuchtgas so behandelt lieferten z. B. 30 ccm fast reines Benzol.

Zur Untersuchung des Leuchtgases mit dem S. 239 beschriebenen Apparate bestimmt man zunächst in der angegebenen Weise Kohlensäure und Sauerstoff, spült dann die Arbeitsglocke mit Wasser aus, welches durch den Dreiweghahn abgesaugt wird, wobei auch das im Trichter zurückgehaltene Wasser mittelst durch den Trichter eingelassenen Quecksilbers verdrängt wird, worauf man die Gasprobe in die Arbeitsglocke zurücktreten läßt. Man schiebt nun eine mit stark rauchender Schwefelsäure getränkte, an einem Platindrahte befestigte Kokeskugel (S. 251) in der Glocke *A* in die Höhe, so daß sich die Kugel etwa mitten im Gase befindet. Um eine vollständige Absorption der schweren Kohlenwasserstoffe zu erzielen, ersetzt man nach etwa 10 Minuten diese Kugel durch eine andere, ebenfalls mit an Anhydrid reicher Schwefelsäure getränkte Kugel, entfernt auch diese nach etwa 25 Minuten, läßt durch den Trichter etwas Kalilauge eintreten und saugt nach einigen Minuten das zurückgebliebene Gas in das Meßrohr *M*.

[1]) Journ. f. Gasbel. 1879, 653; 1880, 253, 273; Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1880, 910. — [2]) Bunsen: Gasometrische Methoden, S. 252. — [3]) Dingl. Journ. (1859) 152, 22. — [4]) Dingl. Journ. (1864) 174, 460. — [5]) Journ. f. Gasbel. 1874, 299 u. 447.

Von diesem so von Kohlensäure, Sauerstoff und schweren Kohlenwasserstoffen befreiten Gase läßt man durch den Dreiweghahn d so viel entweichen, daß im Meßrohre M nur 50 bis 60 Vol. (bei gewöhnlichem Drucke) zurückbleiben, läßt dann 60 bis 70 Vol. Sauerstoff und etwa 150 Vol. atmosphärische Luft (von bekanntem Sauerstoffgehalte) zutreten, entzündet das Gasgemisch durch einen zwischen den Platindrähten überspringenden Inductionsfunken, bestimmt die Menge des zurückgebliebenen Gases, dann den Gehalt desselben an Kohlensäure und Sauerstoff. Es ist sehr zu empfehlen, alle Ablesungen bei zwei verschiedenen Quecksilberständen im Druckrohre, somit unter zwei verschiedenen Drücken auszuführen (vgl. S. 195); auf 1000 mm Quecksilberdruck und 0° reducirt, müssen dann beide Ablesungen fast genau das gleiche Resultat ergeben, sonst ist die Calibrirung des Meßrohres ungenau oder die Ablesungen sind falsch. Das Mittel von je zwei gut stimmenden Ablesungen wird den folgenden Berechnungen zu Grunde gelegt.

Eine so ausgeführte Untersuchung von Hannoverschem Leuchtgase ergab, reducirt auf 1000 mm und 0°:

Angewendete Gasmenge	173,41
Nach Absorption von Kohlensäure	172,01
Desgl. von Sauerstoff	171,88
Nach Behandlung mit SO_3	166,38.

Ferner:

Hiervon angewendete Gasmenge	37,10
Nach Zulaß von Sauerstoff	88,59
Nach Zulaß von Luft	194,35
Nach der Explosion	136,35
Nach Absorption von Kohlensäure	118,56
Nach Absorption von Sauerstoff	84,15.

Auf 100 Thle. Leuchtgas berechnet, ergaben sich also:

Kohlensäure	0,81
Sauerstoff	Spur
Durch SO_3 absorbirte schwere Kohlenwasserstoff .	3,17
Nicht absorbirbare Bestandtheile	96,02.

Da die bei der Untersuchung der letzteren verwendete Luft 79,20 Proc. Stickstoff enthielt, 105,76 Vol. daher 83,76, so enthielten die verwendeten 37,10 Vol. Gas 0,39 Stickstoff und 36,71 brennbare Gase (v), welche eine Contraction von 58,00 (n) und 17,79 Kohlensäure (k) ergaben. Auf obige 96,02 Vol. umgerechnet, ist somit $v = 95{,}01$, $k = 48{,}74$ und $n = 150{,}11$ (vgl. S. 238). Die 96,02 Vol. von Schwefelsäure nicht absorbirbare Gase bestanden somit aus:

Methan (CH_4)	37,55
Kohlenoxyd	11,19
Wasserstoff	46,27
Stickstoff	1,01.

Zur Bestimmung der näheren Bestandtheile der von Schwefelsäure absorbirbaren Gase werden etwa 50 Volumen des von Kohlensäure und Sauerstoff

befreiten Leuchtgases[1]) in gleicher Weise mit Sauerstoff und Luft gemischt verbrannt:

Angewendetes Gas	40,02
Nach Zulaß von Sauerstoff	100,26
Nach Zulaß von Luft	196,16
Nach der Explosion	132,82
Nach Absorption von Kohlensäure	109,33.

Die Probe ergab somit eine Contraction von 63,34 und 23,49 Kohlensäure oder auf 99,19 von Kohlensäure und Sauerstoff befreites Gas 156,98 und 58,22. Hiervon die für obige, von schweren Kohlenwasserstoffen befreiten 96,02 Vol. erhaltenen Zahlen abgezogen, ergeben sich für die 3,17 Vol. durch Schwefelsäure absorbirbaren Gase 9,48 Kohlensäure (k) und 6,87 Contraction (n).

Nun geben nach der Gleichung $C_2H_4 + 6O = 2CO_2 + 2H_2O$ 2 Vol. Aethylen mit 6 Vol. Sauerstoff 4 Vol. Kohlensäure, somit eine Contraction von 2; nach der Gleichung $C_3H_6 + 9O = 3CO_2 + 3H_2O$ 2 Vol. Propylen mit 9 Vol. Sauerstoff 6 Vol. Kohlensäure, somit 2,5 Contraction und nach $C_6H_6 + 15O = 6CO_2 + 3H_2O$ geben 2 Vol. Benzol mit 15 Vol. Sauerstoff 12 Vol. Kohlensäure, also ebenfalls 2,5 als Contraction. Bezeichnet man daher Aethylen mit a, Propylen mit p und Benzol mit b, so erhält man:

$$v = a + p + b, \quad k = 2a + 3p + 6b, \quad n = 2a + 2{,}5p + 2{,}5b$$

und daraus:

$$a = 5v - 2n, \quad p = \tfrac{1}{3}(8n - 14v - k), \quad b = \tfrac{1}{3}(2v + k - 2n),$$

folglich 2,11 Aethylen, 0,37 Propylen und 0,69 Benzol. Das Leuchtgas hatte daher folgende Zusammensetzung:

	I.	II.
Benzol	0,69	0,59
Propylen	0,37	0,64
Aethylen	2,11	2,48
Methan	37,55	38,75
Wasserstoff	46,27	47,60
Kohlenoxyd	11,19	7,42
Kohlensäure	0,81	0,48
Sauerstoff	Spur	0,02
Stickstoff	1,01	2,02
	100,00	100,00.

Eine früher[2]) ausgeführte Untersuchung ergab die unter II. angegebenen Werthe (vergl. S. 287).

Quecksilberreinigung. Um besonders stark verunreinigtes Quecksilber wieder brauchbar zu machen, wird dasselbe destillirt. Passende Vorrichtungen hierfür beschreiben Weinhold[3]) und Morse[4]). Um das Quecksilber nur von

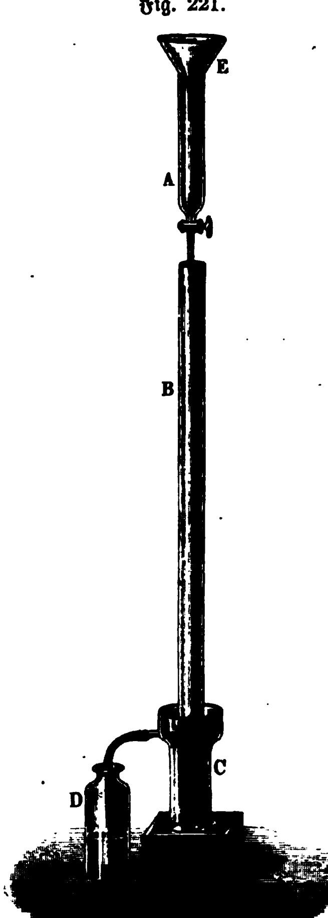
---

[1]) Statt dessen kann man natürlich auch das ursprüngliche Gas nehmen und in diesem zunächst Kohlensäure und Sauerstoff bestimmen. — [2]) Fischer's Jahresb. d. chem. Technol. 1882, 1143. — [3]) Carl's Repert. 1879; Dingl. Journ. 234, *211. — [4]) Amer. Chem. Journ. 1885, 60; Fischer's Jahresb. d. chem. Technol. 1885, *402.

Staub und dergleichen zu reinigen, filtrirt es Pfaundler[1]) durch Leder. Von den sonstigen Vorschlägen[2]) sind erwähnenswerth der von Brühl[3]), welcher das Quecksilber mit einer sauren Lösung von Dichromat schüttelt, um fremde Metalle zu entfernen.

L. Meyer[4]) läßt zu gleichem Zwecke das Quecksilber aus dem Gefäße *A* (Fig. 221) in sehr feinem Strahle in das 1 bis 1,5 m lange, etwa 3 cm weite, mit Eisenchloridlösung gefüllte Rohr *B* einfließen, dessen unteres schräg abgeschnittenes Ende in dem nur wenig weiteren Cylinder *C* durch Quecksilber gesperrt ist. Dieser Cylinder muß 0,1 der Höhe des Rohres *B* haben, damit das darin befindliche Quecksilber der Eisenchloridlösung das Gleichgewicht hält. Ist das Quecksilber sehr schmutzig, so filtrirt man es zuerst durch ein im Trichter *E* liegendes, durchstochenes Filter. Das aus der unteren, nicht in die Lösung eintauchenden Spitze des Gefäßes *A* ausfließende Quecksilber kommt unten in sehr kleinen Tröpfchen an, welche sich erst allmälig durch den Druck des nachfolgenden Quecksilbers vereinigen, so daß schließlich in das Gefäß *D* nur reines, blankes Metall abfließt.

Fig. 221.



Nach C. Michaelis[5]) läßt sich ein Gehalt an Zink, Blei, Cadmium und Wismuth daran erkennen, daß ihre Amalgame leicht an glatten Flächen haften und stark abfärben. Er konnte durch diese Eigenschaft noch 0,00095 Proc. Zink, 0,0012 Proc. Zinn, 0,0018 Proc. Blei, 0,0015 Proc. Cadmium und 0,0027 Proc. Wismuth erkennen. Die Reinigung des Quecksilbers von diesen Metallen gelingt am besten durch das von W. Siemens angegebene Verfahren, nach welchem das Quecksilber einige Zeit unter concentrirter Schwefelsäure, der einige Tropfen concentrirter Salpetersäure zugesetzt sind, gekocht wird. Das so behandelte Quecksilber muß dann aber noch mit schwach verdünnter Salpetersäure übergossen und zeitweilig so heftig geschüttelt werden, daß es sich in lauter kleine Kügelchen auflöst.

---

[1]) Dingl. Journ. (1879) 233, *42. — [2]) Jahresber. d. chem. Technol. 1879, 264; Dingl. Journ. (1880) 238, 236. — [3]) Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1879, 204. — [4]) Daselbst 1879, 437. — [5]) Chem. Centralbl. 1884, 484.



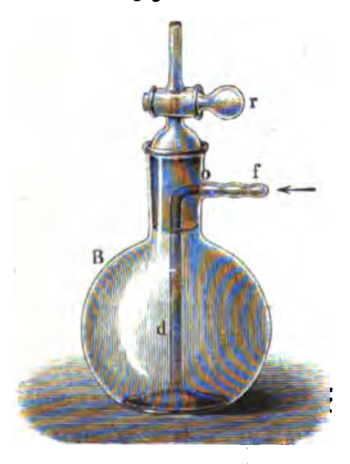
Fig. 222.

Verwendet man zu Gasanalysen von vornherein einigermaaßen reines Quecksilber, wie es im Handel vorkommt, so genügt es, nach Erfahrungen des Verfassers, alles durch Kali, Pyrogallol, Schwefelsäure und dergleichen verunreinigte Quecksilber einfach in die (etwa 40 cm hohe) Flasche *A* (Fig. 222) zu gießen, in deren untere Oeffnung mit Kautschukschlauch und Drahtschlinge das gebogene Rohr *a* befestigt ist, aus welchem das reine Quecksilber abfließt, während die Unreinigkeiten oben im Cylinder *A* bleiben, und von hier zeitweilig durch Wasser und Abheben desselben leicht entfernt werden.

Nachträge.

Die Bogen 1 bis 18 dieses Bandes waren bereits im Jahre 1881 gedruckt, als durch eine schwere Erkrankung des Verfassers eine Unterbrechung des Druckes eintrat. Wegen anderweitiger Arbeitsüberhäufung des Verfassers ist es erst jetzt (Herbst 1886) wieder möglich geworden, an die Fortsetzung bezw. nunmehr baldige Beendigung des Druckes zu gehen. Es mögen daher zunächst die inzwischen gemachten Vorschläge und Fortschritte auf dem Gebiete der Untersuchung der Gase, der Brennstoffe, der Wärme und Lichtmessung besprochen werden.

Fig. 223.



Zur Untersuchung von Leuchtgas.

Zur Bestimmung des Eigengewichtes des Leuchtgases verwendet C. Chancel[1]) einen Glaskolben *B* (Fig. 223) von etwa 200 ccm Inhalt, mit angeschmolzenem Röhrchen *f*. Der mit Hahn *r* versehene Glasstopfen ist mit einer genau vor das Rohr *f* passenden Bohrung *o* und angeschmolzenem Rohre *d* versehen. Das zu untersuchende Gas läßt man durch Rohr *fd* ein-

---

[1]) Compt. rend. 94, *626.

treten, die Luft durch den durchbohrten Stopfen entweichen oder umgekehrt. Dann schließt man Hahn *r*, unterbricht durch Drehen des Stopfens die Verbindung zwischen *f* und *d*, wiegt und berechnet das specifische Gewicht wie früher (S. 271) angegeben.

Nach Lux[1]) befindet sich in einem mit eingeschliffenen Glasstopfen verschlossenen und mit Wasser, Erdöl oder einer sonstigen Flüssigkeit zur Hälfte gefüllten Glascylinder eine Art Aräometer mit sehr dünner Spindel, an deren oberem Ende eine hohle, verhältnißmäßig große, geschlossene Glaskugel angebracht ist. Die Gewichtsveränderungen, welche diese Glaskugel innerhalb Gasen oder Dämpfen von verschiedenen specifischen Gewichten oder Drucken erleidet, verändern das hydrostatische Gleichgewicht und werden daher durch Steigen oder Sinken des Apparates angezeigt. Große Genauigkeit wird man von diesem Baräometer wohl nicht erwarten dürfen (vergl. Jahresber. 1886, *413).

Schwefelkohlenstoff kann man nach A. Eiloart[2]) dadurch aus Gasen abscheiden, daß man dieselben durch Leinöl leitet. — L. T. Wright[3]) leitet zur Bestimmung von Schwefelwasserstoff das Leuchtgas durch mit Kupferphosphat gefüllte Röhren.

Da es praktisch doch nur wesentlich auf den Gesammtschwefel ankommt, so sind die Verfahren, denselben in den Verbrennungsproducten zu bestimmen, wichtiger. O. Knublauch[4]) läßt zu diesem Zwecke das Leuchtgas aus einem Gasometer in ein, theilweise mit Platinasbest gefülltes Verbrennungsrohr treten, in welches auch die erforderliche atmosphärische Luft eingeführt wird (vergl. S. 277). Th. Poleck[5]) verbrennt das Gas in einem Bunsen'schen Brenner und saugt die Verbrennungsproducte mittels einer Wasserstrahlluftpumpe durch bromhaltige Natronlauge (vergl. S. 279). In 100 Liter Gas waren z. B. enthalten unmittelbar an der Retorte 600 mg Schwefel, vor den Skrubbern 540 mg, hinter denselben 464 mg, hinter den Condensatoren 440 mg und im gereinigten Gase, welches frei von Schwefelwasserstoff war, 276 mg Schwefel[6]).

Beide Verfahren sind viel weniger einfach, als das vom Verfasser[7]) vorgeschlagene (S. 281). Statt des Bromkalis kann man jedoch besser Wasserstoffsuperoxyd eintropfen lassen, wie dieses neuerdings auch Fairley[8]) thut.

---

[1]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1885, *1281; D. R.-P. Nr. 32 091 u. 33 922. — [2]) Chem. News (1885) 52, 184. — [3]) Journ. Chem. Soc. 247, 267, Pharm. Journ. and Transact. (3) 668, 850. — [4]) Zeitschr. f. anal. Chem. 1882, *335. — [5]) Journ. f. Gasbel. 1878, 222; Zeitschr. f. anal. Chem. 1883, *172. — [6]) Der Benzolgehalt des Breslauer Gases schwankt in den verschiedenen Jahreszeiten von 0,5 bis 1,32 Proc. — [7]) Vergl. Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1882, *1111. — [8]) Journ. Soc. Chem. Industr. 1886, *283.

Nachtrag zu Apparaten für Gasanalyse.

J. Geppert[1]) will die Bunsen'sche Bürette (S. 187) bezw. dessen Verfahren so abändern, daß weniger Ablesungen erforderlich sind. Als Verbesserungen kann man diese Vorschläge nicht bezeichnen.

L. Meyer und K. Seubert[2]) ändern das Bunsen'sche Verfahren dahin ab, daß die Explosionen unter stark vermindertem Drucke ausgeführt werden. Für technische Gasanalysen ist das Verfahren jedenfalls nicht empfehlenswerth.

Pszcolka[3]) will die Untersuchung in einer gewöhnlichen Bürette über Wasser ausführen. Das Verfahren kann höchstens dann in Frage kommen, wenn keine andere Vorrichtung vorhanden ist.

Kershaw[4]) schlägt eine sogenannte Verbesserung der Raoult'schen Bürette (S. 226) vor; thatsächlich verschlechtert er aber das Arbeitsverfahren mit derselben noch. Auch der ähnliche Vorschlag von Breneman[5]) ist in keiner Weise zu empfehlen.

H. v. Jüptner[6]) schlägt einige unwesentliche Veränderungen an der Bunte'schen Bürette (S. 227) vor, ohne aber deren Hauptmangel zu beseitigen, daß die Absorptionen in dem Meßrohre selbst stattfinden. — Dasselbe gilt für die Vorschläge von V. Eggertz[7]).

Fileti[8]) empfiehlt die absorbirenden Flüssigkeiten mittels Gypskugeln in das Gasgemenge einzuführen. Die Bestimmung von Kohlenoxyd mit Chromsäure ist aber ungenau, da auch Wasserstoff oxydirt wird.

Sokoloff[9]) verbindet die Bunsen'sche Bürette mit einer langen, zu einer beweglichen Absorptionsglocke führenden Ableitung, so daß die Vorrichtung der von Regnault (S. 231) angegebenen ähnlich wird, derselben aber nachsteht. — Noch weniger empfehlenswerth ist der ähnliche Apparat von Schellhammer[10]).

Der Apparat von Stead[11]) unterscheidet sich wenig von dem Regnault'schen.

G. Lunge[12]) verbindet den Müncke'schen Apparat (S. 245) in ähnlicher Weise wie Orsat (S. 243) mit einer Verbrennungsvorrichtung mittels Palladiumasbest, um den Wasserstoff in Generatorgasen bestimmen zu können. Methan bleibt hierbei unverändert. — Später[13]) zieht derselbe jedoch das sogenannte

---

[1]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1882, *2403. — [2]) Liebig's Ann. 226, *87 u. 115; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1885, *420. — [3]) Dingl. Journ. (1882) 244, *209. — [4]) Chem. News 49, *73. — [5]) Daselbst 48, *156. — [6]) Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, *572. — [7]) Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1883, *204. — [8]) Gazz. chim. 1881, 1. — [9]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1882, *1167. — [10]) Schellhammer: Gasanalysenapparate (Leipzig 1884). — [11]) Engineer (1880) 49. *329; Journ. Iron and Steel-Inst. 1880, *68. — [12]) Chem. Ind. 1882, 77; Dingl. Journ. (1882) *512; vergl. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1881, 2188. — [13]) Chem. Ind. 1885, 170; Fischer's Jahresber. 1885, 417.

Nitrometer vor[1]), indem er mit Recht hervorhebt, daß bei genaueren Messungen Quecksilber als Sperrflüssigkeit vorzuziehen ist.

A. H. Elliot[2]) und A. H. Allen[3]) verwenden ähnliche Vorrichtungen, welche sich von der Regnault'schen (S. 231) wesentlich nur dadurch unterscheiden, daß das Arbeitsrohr unten geschlossen und mit einer Standflasche verbunden ist. Die Verwendung von Wasser oder Salzlösungen als Sperrflüssigkeit ist nicht empfehlenswerth, so daß der Apparat S. 297 doch wohl vorzuziehen ist.

Die Verwendung von Phosphor zur Sauerstoffbestimmung ist nach A. Vogel[4]) unzuverlässig, sobald Methan und andere Kohlenwasserstoffe zugegen sind, nach Baumann[5]) auch in Gegenwart von Kohlenoxyd, somit auch bei Rauchgasanalysen.

Die von R. Bunsen[6]) beobachtete Verdichtung der Kohlensäure auf blanken Glasflächen kommt bei den hier in Frage kommenden Untersuchungen nicht in Betracht.

Schlußfolgerungen. Auf Grund der Erfahrungen, welche Verfasser bei mehr als 3000 Gasanalysen gemacht hat, hält er noch immer den Apparat Fig. 203 (S. 248) für den handlichsten und besten zur Untersuchung von Feuergasen jeder Art[7]). Um die geringen Mengen von brennbaren Gasen zu bestimmen, welche in normalen Verbrennungsgasen vorkommen, sind meist selbst genaue maaßanalytische Verfahren unzureichend. Solche mit Platinspiralen (Orsat), Palladiumasbest und dergleichen schaden nur, da sie zu unrichtigen Schlüssen führen. Hier muß die Gewichtsanalyse mit einer, während eines längeren Zeitraumes unmittelbar durch die Apparate angesaugten Probe ausgeführt werden, gleichzeitig aber auch je alle 5 oder 10 Minuten eine Augenblicksprobe mit dem Apparate S. 248, um den Gang der Verbrennung verfolgen zu können (vergl. Jahresber. 1885, 1296).

Bei Gasfeuerungen genügt für die gewöhnliche Betriebsaufsicht derselbe Apparat vollkommen. Hier ist ja nur wesentlich dafür zu sorgen, daß die Generatorgase möglichst wenig Kohlensäure (nebst viel Kohlenoxyd) enthalten, die entweichenden Verbrennungsgase aber möglichst viel Kohlensäure, aber kein Kohlenoxyd. Ungenaue Bestimmungen des Wasserstoffes und Kohlenwasserstoffes (z. B. mit der Bunte'schen Bürette) sind werthlos.

Will man bei der Untersuchung von Generatorgasen neben Kohlensäure und Kohlenoxyd, Wasserstoff und Methan bestimmen, so kann man ohne

---

[1]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1881, *239. — [2]) Chem. News **44**, *289; vergl. **45**, 273; Chem. Centralbl. 1882, *100. — [3]) Journ. Soc. Chem. Ind. 1885, *178. — [4]) Sitzungsber. d. math.-phys. Cl. d. Münch. Akad. 1886, 2. — [5]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1884, 283. — [6]) Ann. d. Phys. (1884) **22**, 146; **24**, 321; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1885, 423. — [7]) Dem Vorschlage von Naef (Jahresber. 1885, *423), an demselben statt der Glashähne Gummiverschlüsse zu nehmen, kann Verf. nicht zustimmen, da hierdurch Fehlerquellen eingeführt werden. Die Glashähne machen bei völliger Sicherheit nie die geringste Schwierigkeit, wenn man den Apparat nie aus der Hand setzt, ohne die Hähne neu geschmiert zu haben!

Quecksilberwanne die Apparate Fig. 195 [1]) und 196 in folgender Weise verbinden.

Das Arbeitsrohr *A* (Fig. 224) des ersteren Apparates ist unten durch einen Kautschukstopfen mit eingesetztem, nicht zu engem Glasrohre *g* verschlossen, welches durch eine Schelle *v* auf der Bodenplatte befestigt und durch einen starken Gummischlauch (mit starkem Quetschhahn) mit einer Quecksilberflasche *F* verbunden wird. Oben sind die Platindrähte zur elektrischen Zündung eingeschmolzen. Meßrohr *M* und Druckrohr *D* sind, wie beim Apparate Fig. 196, ebenfalls durch ein mittels Kautschukstopfen, eingesetztes und auf der Bodenplatte befestigtes Glasrohr und Gummischlauch mit der Flasche *L* verbunden.

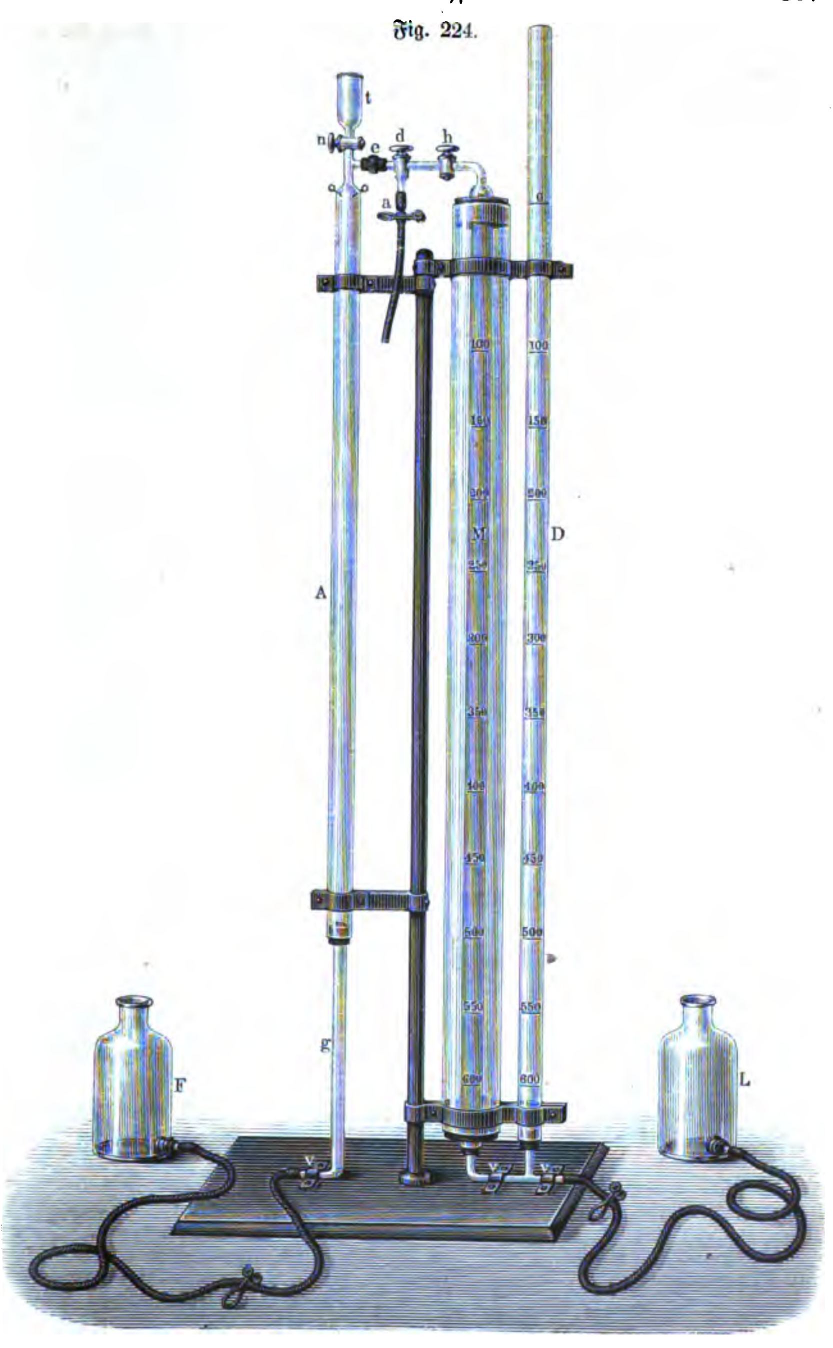
Bei Ausführung der Analyse füllt man die Rohre *A*, *M*, *D* (letztere bis 0) durch Heben der beiden Flaschen mit Quecksilber, schließt die Quetschhähne auf den Schläuchen und die drei Glashähne, füllt das Schlauchende *a* mit Wasser (oder Quecksilber), steckt das eine ausgezogene Ende der die Gasprobe enthaltenden Glaskugel (S. 222) hinein, bricht die Spitze innerhalb des Schlauches ab, taucht das andere Ende in Wasser, bricht auch hier die Spitze ab, dreht Hahn *d* so, daß die Verbindung mit Rohr *A* hergestellt ist und saugt die Gasprobe durch Senken der Quecksilberflasche *F* nach *A* herüber. Nun dreht man Hahn *d* und *h* um 90° und treibt durch Heben der Quecksilberflasche *F* und Senken der anderen Flasche *L* die erforderliche Menge des Gases in das Meßrohr *M*. Ist im Rohre *A* ein Gasrest und etwaiges übergesogenes Wasser enthalten, so drückt man diese durch Hahn *d* nach außen. Nun wird die Gasprobe gemessen (S. 195), durch Trichter *t* 0,8 bis 1 ccm Kalilauge in das Rohr *A* gelassen, dann die Gasprobe aus *M* nach *A* übergeführt, nach der Bindung der Kohlensäure wieder nach *M* (bis die Kalilauge eben *d* berührt) und wieder gemessen. Vermuthet man die Gegenwart von Sauerstoff, so läßt man durch *t* etwa 0,5 ccm Pyrogallussäurelösung nach *A* eintreten und dann die Gasprobe, um in bekannter Weise den Sauerstoff zu bestimmen.

Um nun die brennbaren Gase zu bestimmen, wird das Rohr *A* gereinigt, indem man durch Trichter *t* Wasser eingießt, die Quecksilberflasche *F* senkt, dann hebt, so daß die Waschflüssigkeit durch Hahn *d* und Schlauch *a* abfließt. Nach beendeter Reinigung läßt man durch Schlauch *a* in das Rohr *A* reinen Sauerstoff (S. 255) treten, stellt die Hähne *d* und *h* so, daß durch Heben der Flasche *F* und Senken der anderen Flasche *L* die erforderliche Menge Sauerstoff in das Rohr *M* tritt [2]); etwaiger Ueberschuß wird durch Hahn *d* entfernt. Nach geschehener Messung drückt man das Gasgemisch nach *A*, läßt den Funken überspringen, bestimmt in bekannter Weise die Contraction, die gebildete Kohlensäure und den Stickstoff und berechnet [3]) nach S. 238.

---

[1]) Den Apparat Fig. 195 empfehle ich jetzt nicht mehr, da Hahn *h* kaum dicht zu halten ist. — [2]) Auf je 100 Vol. gewöhnliches Generatorgas 25 bis 30 Vol. Sauerstoff; bei reichen Gasen (Wassergas und dergleichen) auf 100 Vol. aber 50 Vol. Sauerstoff und 100 Vol. atmosphärische Luft um die Explosion zu mäßigen (S. 254). Sind dagegen die Gase arm, so läßt man elektrolytisches Knallgas zutreten (S. 253), bis das Gemenge etwa 30 Proc. brennbares Gemisch enthält. — [3]) Die Berechnung wird etwas erleichtert durch A. Baumann: Tafeln zur Gasometrie (München 1885).

Fig. 224.



Wenn man das Gasgemenge nicht soweit kennt, um die Wirkung der Explosion beurtheilen zu können, so läßt man von demselben zunächst etwa 100 Vol. nach *A* treten, schließt die Hähne *d* und *h*, setzt die Quecksilberflasche *F* auf die Bodenplatte des Apparates, öffnet den Quetschhahn, so daß sich das Gas stark ausdehnt und läßt nun den Funken überspringen. Man erkennt dann leicht, ob man beim Explodiren des größeren Restes zum Abschwächen der Explosion ebenfalls Druckverminderung anwenden muß. Enthält das Gas unter 30 Proc. brennbares Gemisch, so giebt man passend etwas höheren Druck, bei 30 bis 40 Proc. gewöhnlichen Druck (indem man bei geöffnetem Quetschhahn die Quecksilberflasche *F* etwa so hoch aufstellt, als das Quecksilber in *A* steht), bei 40 bis 60 Proc. (nicht mehr!) aber Minderdruck, wie vorhin angegeben. Der Anfänger soll ferner stets während der Entzündung zwischen Rohr *A* und Auge eine starke Spiegelglasscheibe stellen. Der Apparat giebt bei sehr bequemer Handhabung sichere Resultate, so daß ihn Verfasser für vorliegenden Zweck allen anderen vorzieht [1]).

Für Fabriklaboratorien wird man in manchen Fällen Wasser [2]) als Sperrflüssigkeit in der Flasche *L* verwenden können, während in *F* Quecksilber unentbehrlich ist. Rohr *D* kann dann entbehrt werden, Rohr *M* wird, statt in Millimeter in 100 Vol. getheilt, der Wasserstand in Flasche *L* und Rohr *M* vor jeder Ablesung in gleiche Höhe eingestellt, so daß dann — da während der zu einer Analyse erforderlichen kurzen Zeit Temperatur und Barometerstand wohl unverändert bleiben — alle Umrechnungen unnöthig sind. Da aber letzterer Vortheil auch dadurch zu erreichen ist, daß man das Quecksilber in den Rohren *M* und *D* vor jeder Ablesung genau auf gleiche Höhe stellt [3]) so zieht Verfasser doch den Apparat (Fig. 224) mit Quecksilber in beiden Flaschen vor.

Als bewährte Hahnschmiere empfehle jetzt ein Gemisch von geschmolzenem Parakautschuk und Vaseline.

Zur Untersuchung der atmosphärischen Luft.

Zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit (S. 167) sind folgende neuere Vorschläge gemacht [4]).

Haarhygrometer in neuer Anordnung sind beschrieben von Wilk (D. R.-P. 16651), Klinkerfues [5]), Lambrecht [6]) und W. Riedel [7]).

---

[1]) Derselbe ist u. A. vom Universitätsmechaniker W. Apel in Göttingen zu beziehen. — [2]) Um den durch die Löslichkeit von Kohlensäure und Sauerstoff in Wasser veranlaßten Fehler möglichst zu verringern, kann man durch das Wasser in Flasche *L* einige Mal mittelst Glasrohr Athemluft einblasen. — [3]) Hat man kein Fernrohr (Kathetometer) zur Hand, so stellt man hinter die Rohre *M* und *D* einen Spiegel senkrecht auf und hält bei jeder Ablesung den Kopf so, daß man über der Quecksilberkuppe in das Spiegelbild des Auges sieht, um den Fehler der Parallaxe zu vermeiden. — [4]) S. 167 letzte Zeile lies 1674 statt 1874. — [5]) D. R.-P. Nr. 13855, 17450, 20445, 24786, 25053; Dingl. Journ. (1884) 252, *8. — [6]) D. R.-P. Nr. 18481, 21991. — [7]) D. R.-P. Nr. 30833; Dingl. Journ. (1885) 256, *442.

Letzterer will beim Haarhygrometer die Abweichungen des gemessenen Feuchtigkeitsgrades der Luft von dem wirklichen mittelst einer Schraubenberichtigung ausgleichen. — Alle diese patentirten Erfindungen haben keine praktische Bedeutung.

B. Crova[1]) bezeichnet als zuverlässigste Vorrichtung das Haarhygrometer in der von Saussure angegebenen Form (S. 169). Nadel und Axe sind aus Aluminium zu verfertigen, und an Stelle der gewöhnlich verwandten Gewichte ist eine Spiralfeder aus Gold anzubringen, um eine gleichmäßige und beliebig schwache Spannung erzielen zu können. Außer dem Vortheile, daß die von Saussure als beste bezeichnete Spannung (durch etwa 0,2 g) erreicht werden kann, ist das Instrument auch in jeder Lage zu gebrauchen.

Mithoff[2]) verwendet gereinigte Eihäute in Verbindung mit einer Metallspirale. Die Vorrichtung ist nach Versuchen des Verfassers nicht empfehlenswerth. Besser soll das selbstregistrirende Hygrometer von Gebr. Richard[3]) sein, welches aus Goldschlägerhäutchen in Verbindung mit einem Metallringe besteht (vgl. S. 168).

J. M. Pernter[4]) bestätigt, daß das Psychrometer von August (S. 176) unzuverlässig ist.

Riedner[5]) benutzt zur Bestimmung der Feuchtigkeit eine gewöhnliche empfindliche Balkenwaage, an deren einem Arme ein leichter, mit feinster Leinwand überspannter Rahmen von etwa 1000 qcm Fläche hängt. Man befeuchtet die Leinwand, bestimmt das Gewicht und beobachtet, wieviel Wasser in einer bestimmten Zeit verdunstet, oder man zählt die Sekunden, welche zur Verdunstung einer bestimmten Menge, etwa 0,5 g Wasser erforderlich sind. — Das Verfahren ist durchaus unzuverlässig (vgl. S. 177).

Der Vorschlag von Bodowich[6]), eine Thermokette als Hygroskop zu verwenden, ist kaum ernst zu nehmen, sowie die Verwendung von Kobaltsalzen u. dgl.[7]) vor wie nach als Spielerei zu bezeichnen (vgl. S. 167).

Für viele Zwecke ist ein gutes Haarhygrometer (S. 170) zu verwenden, sonst die S. 179 und 182 beschriebenen genaueren Apparate.

Sauerstoff. W. Hempel[8]) bestimmt den Sauerstoffgehalt der Luft mit einer Lösung von 1 ccm einer 25 procentigen Pyrogallussäurelösung und 6 ccm einer 60 procentigen Aetzkalilösung, welche keine meßbaren Mengen von Kohlenoxyd entwickeln soll. Er fand so im Frühjahre 1885 20,87 bis 20,97 Proc. Sauerstoff.

Nach Versuchen von B. Tacke[9]) entstehen jedoch bei der Absorption des Sauerstoffs aus größeren Mengen Luft mittels der von Hempel angegebenen Lösung meßbare Mengen Kohlenoxyd, welche den Sauerstoffgehalt um etwa 0,13 bis 0,15 Proc. zu niedrig ausfallen lassen.

---

[1]) Journ. de phys. 1884, 3, 390. — [2]) D. R.-P. Nr. 16 568; Fischer's Jahresb. d. chem. Technol. 1882, 489. — [3]) Bull. Soc. d'Encourag. 9, 531; Dingl. Journ. (1883) 247, 487. — [4]) Wiener Ber. Apr. 1883, 18; Beibl. z. Ann. d. Phys. 1884, 31. — [5]) Pharm. Centralh. 22, 380. — [6]) Centralbl. f. Electrotechn. 1883, 529; Dingl. Journ. 252, 30. — [7]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1308. — [8]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1885, 268 und 1800. — [9]) Archiv f. Physiol. (1886) 28, 401.

U. Kreusler[1]) fand mit einem verbesserten Jolly'schen Apparate (S. 185) 20,88 bis 20,94 Proc. Sauerstoff in freier Landluft.

E. Ebermayer[2]) fand die Waldluft und die Luft im Freien fast gleich zusammengesetzt. Er erklärt dieses damit, daß ein Wald von 1 ha Größe als Sauerstoffspender durch die Athmung von 4 Personen ausgeglichen werde. Dagegen beträgt der jährliche Bedarf an Kohlensäure für das gesammte Waldgebiet Bayerns etwa 29 Milliarden Kilogramm und ferner werden durch den Athmungsproceß der Blätter mehr als 14 Milliarden Cubikmeter oder 20 Milliarden Kilogramm Sauerstoff der Atmosphäre zugeführt. Die Ausgleichung und Vermischung der Waldluft mit der freien Atmosphäre geht aber so schnell vor sich, daß weder bezüglich des Kohlensäure- noch des Sauerstoffgehalts der Luft innerhalb und außerhalb des Waldes wesentliche Unterschiede wahrnehmbar sind.

E. W. Morley[3]) hat in Hudson und Ohio den Sauerstoff der Luft bestimmt; er erklärt die Schwankungen durch Niedersinken der höheren, sauerstoffärmeren Luftschichten.

A. Müntz und E. Aubin[4]) fanden am Cap Horn an zwei auf einander folgenden Tagen im Mai 1883 20,72 und 20,97 Proc. Sauerstoff, während früher Regnault 20,30 bis 21,02 Proc. Sauerstoff fand, und Lewy[5]) 20,33 bis 21,06 Proc.

Weitere Beobachtungen sind wünschenswerth (vgl. S. 196)[6]).

Ozon. Die Prüfung der atmosphärischen Luft auf Ozon (S. 196) ist noch immer ohne jede praktische Bedeutung[7]).

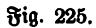
Kohlensäure. Das sogenannte mimimetrische Verfahren zur Kohlensäurebestimmung (S. 197) hat Wolpert[8]) wieder aufgegriffen. Dasselbe ist vor wie nach unbrauchbar.

Auch M. Ballo[9]) bestätigt, daß bei der sogenannten mimimetrischen Kohlensäurebestimmung[10]) derselbe Grad der Trübung bei verschiedenen Versuchen nur sehr schwer zu erreichen ist. Geringere Mengen Kohlensäure werden von Kalkwasser, ohne eine deutlich sichtbare Trübung hervorzubringen, absorbirt. Es kommt hierbei nicht allein auf die Schärfe des Gesichtes an, sondern auch auf die Form des Absorptionsgefäßes und auf die Schnelligkeit, mit welcher die Frage hindurchgepreßt wird, und bei so verdünnter Kohlensäure, wie die in Luft stehende, können durch zu rasches Hindurchpressen bedeutende Kohlensäuremengen in Verlust gerathen.

---

[1]) Landwirthschaftl. Jahrb. (1885) 14, 305. — [2]) Sitzungsber. d. bayerisch. Acad. 1885, 299. — [3]) Chem. News 45, 245 u. 284. — [4]) Compt. rend. 102, 411. — [5]) Annal. de chim. et phys. (1852) 34, 5. — [6]) Die S. 196 oben angegebenen Analysen wurden mit Laboratoriumluft ausgeführt. Vergl. auch R. Ebert: Die Sauerstoffschwankungen der Atmosphäre. Programmschrift (Dresden 1885). — [7]) Vergl. Fehling: Handwörterbuch d. Chemie (Braunschweig 1886) 4, 1074; Fischer's Jahresb. d. chem. Technol. 1884, 417. — [8]) D. R.-P. Nr. 20446; Fischer's Jahresb. d. chem. Technol. 1882, 490. — [9]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1884, 1097; Fischer's Jahresb. d. chem. Technol. 1884, 1305. — [10]) Vergl. auch A. Smith: Air and rain (London 1872) 193.

Schüttelt man in einer Halbliterflasche die zu untersuchende Luft mit einer gewissen Menge des mit Phenolphtaleïn roth gefärbten Kalkwassers, unter erneuertem Zusatz desselben, bis keine Entfärbung mehr erfolgt, so läßt sich auf diese Art die Kohlensäure mit annähernder Genauigkeit bestimmen. Allein ein so stark verdünntes Kalkwasser wirkt zu wenig rasch absorbirend und der Versuch erfordert 1/4 bis 1/2 Stunde, auch wenn man statt der gewöhnlichen Flaschen flache Feldflaschen verwendet, welche die Absorption ungemein befördern. Ballo hat deshalb anstatt Kalkwasser ein energischer wirkendes Absorptionsmittel gesucht und ist schließlich bei einem Gemische von Kali- oder Natronlauge mit einer Chlorbaryumlösung stehen geblieben. Eine solche Lösung von genügender Verdünnung läßt sich mit Hilfe titrirter Lauge sehr schnell herstellen und die Absorption ist in etwa 10 Minuten so weit vollendet, daß die erreichte Genauigkeit für viele Zwecke genügt.


Fig. 225.



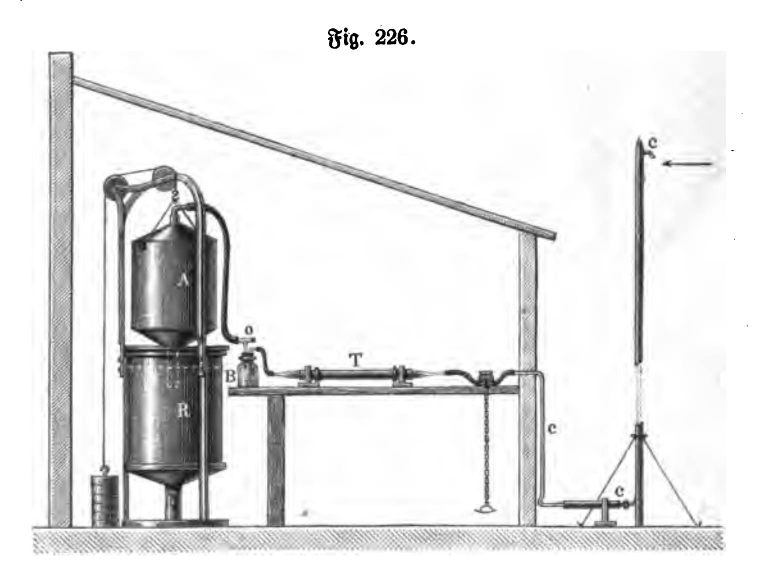
Nach ferneren Vorschlägen von Ballo und Nienstädt (D. R.-P. Nr. 32 426) wird hierfür eine Flasche (Fig. 225) verwendet; dieselbe hat Inhalt von 100 bis 500 ccm, die Bürette *b* faßt 10 bis 50 ccm. In dem Wulste *u* der Flasche *f* sind zur Anbringung des Bajonnetverschlusses *l* Ausschnitte vorgesehen. Ueber das Rohrstück *m* wird die Kapsel *g* gestülpt, welche eine zur Führung des Rohrstempels *r* dienende geschlitzte Hülse *h* trägt. Bei der Untersuchung entfernt man die Kautschukklappe *o* des Trichters *t* und füllt durch das Rohr *r* eine mit einer geringen Menge Chlorbaryum versetzte und mit Phenolphtaleïn roth gefärbte Kali- oder Natronlösung in die Bürette bis zum Nullpunkte. Dann zwingt man die zu untersuchende Luft dadurch in die Flasche einzutreten, daß man dieselbe voll Wasser gießt und dieses in den Raum, dessen Luft untersucht werden soll, wieder ausschüttet[1]). Nun setzt man den Deckel *l* wieder auf, zieht die Röhre *r* etwas in die Höhe und drückt leise am Kugelventile *v* des Schlauches *s*, um die Luft durch Rohre *c* und c_1 von *f* nach *b* treten zu lassen, so daß die Alkalilösung ausfließen kann. Sind 5 ccm ausgeflossen, so drückt man den Stempel *r* gut hinab, wodurch die Oeffnung *a* wieder verschlossen wird, schüttelt nun die Flasche 2 bis 3 Minuten, indem man von Zeit zu Zeit nachsieht, ob eine Entfärbung der Flüssigkeit stattgefunden hat oder nicht. Im letzteren Falle ist die Luft genügend rein, im ersteren Falle aber unrein. Die Absorptionsflüssigkeit hat nämlich eine solche Verdünnung, daß 5 ccm derselben dem normalen Kohlensäuregehalte der Luft entsprechen. Läßt man nun weitere 5 ccm Absorptionsflüssigkeit einfließen, schüttelt wieder 2 bis 3 Minuten und es erfolgt keine Entfärbung, so enthält die

[1]) Nicht empfehlenswerth, wegen der Löslichkeit von Kohlensäure im Wasser. *F.*

Luft weniger als das doppelte des Normalgehaltes; erfolgt aber Entfärbung, so beträgt der Kohlensäuregehalt mehr als das doppelte des normalen. Will man nun den Gehalt genau erfahren, so wiederholt man diese Versuche zunächst mit 5 zu 5 ccm, dann aber cubikcentimeterweise. Entspricht 1 ccm der Maaßflüssigkeit 1 ccm Kohlensäure in 10000 ccm Luft, so ist der Kohlensäuregehalt $x = 111{,}6\, ma : v$, wobei m die Anzahl der Cubikcentimeter Zehntel-Oxalsäure bedeutet, welche zur Sättigung von 100 ccm der Absorptionsflüssigkeit nothwendig waren; v ist das Volumen der Flasche, a die Anzahl der beim Versuche verbrauchten Cubikcentimeter der Absorptionsflüssigkeit.

Aehnlich, aber minder bequem, ist das Verfahren von Blochmann[1]). Eine Flasche von 505 ccm Inhalt wird mit der zu untersuchenden Luft gefüllt. Nun giebt man 5 ccm gesättigtes Kalkwasser und 3 Tropfen einer Lösung von reinem Phenolphtaleïn in 60 procentigem Alkohol (1 : 1000) in die Flasche, verschließt dieselbe mit einem Korkstopfen und schüttelt 2 bis 3 Minuten kräftig um. Hierauf öffnet man die Flasche, füllt sie durch Saugen am Saugrohr mittels eines tiefen Athemzuges von neuem mit Luft, schüttelt wiederum 2 bis 3 Minuten und fährt in gleicher Weise so lange fort, bis die Flüssigkeit in der Flasche farblos geworden ist. — Das S. 202 angegebene Verfahren ist doch wohl vorzuziehen.

Fig. 226.



A. Müntz und E. Aubin[2]) füllen den 160 Liter fassenden Behälter *A* (Fig. 226) durch Eintauchen in das Gefäß *R* und Oeffnen des Hahnes *o* mit Wasser, lassen ihn dann durch ein Gegengewicht allmälig heben, so daß die Luft

---

[1]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1884, 333; Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1884, 1017. — [2]) Compt. rend. **93**, 797; **96**, *1793; **98**, *487; **102**, 421.

oben durch das Rohr c eintritt, an das Kali im Rohre T die Kohlensäure abgiebt und durch das Controlfläschchen B zum Gasometer A geht. Die vom Kali aufgenommene Kohlensäure wird dann wie früher (S. 199) bestimmt. Sie fanden so folgende Durchschnittswerthe (in 10000):

	Am Tage	Nachts
Haiti	2,704	2,92
Florida	2,897	2,947
Martinique	2,735	2,850
Mexico	2,665	2,860
Santa-Cruz (Patagonien) . . .	2,664	2,670
Chubut (Patagonien)	2,790	3,120
Chili	2,665	2,820
Cap Horn	2,563	2,556

E. Reichardt[1]) fand in Jena 2,9 bis 3,2 auf 10000 Raumtheile, M. Breslauer[2]) in Brandenburg 3,7 bis 2,8, Ebermayer im Jahre 1884 im Bayerischen Hochgebirge 2,52 bis 5,49. Londoner Luft enthält im Mittel 4 auf 10000, an Nebeltagen 0,72, im December 1882 sogar 14,1[3]). Rißler[4]) fand in der Schweiz 2,53 bis 3,59 Thle. Wollny[5]) bestätigt die Angaben von Fodor (S. 205), daß die freie Kohlensäure der Bodenluft auf den Gehalt der Atmosphäre an diesem Gase einen bestimmenden Einfluß ausübt, und zwar in der Weise, daß die Luft um so mehr bereichert wird, je intensiver die Zersetzung der organischen Substanzen vor sich geht. Diese Beeinflussung der atmosphärischen Kohlensäure durch die Bodenluft wird um so stärker hervortreten, je poröser der Boden ist, und umgekehrt, gleiche Mengen organischer Stoffe vorausgesetzt.

Kohlenoxyd. An den Angaben von Poleck (S. 215) hat A. Wagner[6]) Verschiedenes auszusetzen, doch muß hier auf den Streit lediglich verwiesen werden.

A. P. Fokker[7]) ist mit den Ausführungen von M. Gruber (S. 213) nicht einverstanden. Letzterer[8]) stützt sich dagegen auf die Versuche von Kreis[9]) nach denen sich der Organismus vom Kohlenoxyd hauptsächlich durch Verbrennung befreit. [Nach N. Grehant[10]) ist dieses nicht der Fall, vielmehr wird bei unvollständiger Vergiftung das Kohlenoxyd als solches wieder ausgeschieden]. Hüfner und Külz[11]) fanden, daß beim Schütteln von Kohlenoxyd haltiger Luft mit Hämoglobinlösungen, selbst wenn die Luft nur 0,04 Proc. Kohlenoxyd enthielt. noch 38,9 Proc. des Hämoglobins in Kohlenoxydhämoglobin übergeführt wurde. Da nun Kaninchen 0,044 bis 0,059 Proc. Kohlenoxyd in der Luft nach Gruber tagelang ertrugen, so glaubt er, daß der lebende Organismus sich in

---

1) Archiv d. Pharm. 222, 414. — 2) Deutsche Chem. Ztg. 1886, Nr. 21. — 3) Rep. of the meteorolog. Council 1884, 51. — 4) Compt. rend. 94, 1390; Fischer's Jahresb. d. chem. Techn. 1882, 490. — 5) Fortschr. a. d. Geb. d. Agriculturphysik 1885, 405; Chem. Centralbl. 1886, 289. — 6) Repert. d. analyt. Chem. 1885, 226; 1886, 57. — 7) Archiv f. Hygiene 1883, 503. — 8) Daselbst 1884, 246. — 9) Archiv f. d. ges. Physiol. 26, 425. — 10) Compt. rend. 102, 825. — 11) Journ. f. prakt. Chem. 28, 256.

ausgiebiger Weise von dem Gifte zu befreien vermag, daß somit 0,02 Proc. bedeutungslos sind, daß die Schädlichkeitsgrenze bei 0,05 Proc. liege.

Dem gegenüber macht J. Uffelmann[1]) mit Recht geltend, daß hier Thierversuche nicht entscheiden können. Er selbst verspürt nach nur halbstündigem Einathmen einer nur 0,04 Proc. Kohlenoxyd haltenden Luft Kopfschmerz, Hitze in den Wangen und Schlagen der Schläfenarterien, auch leichten Schwindel und erhebliche Mattigkeit, welche Erscheinungen doch entschieden eine Vergiftung andeuten (vergl. S. 214).

Für die Erkennung von Kohlenoxyd haltigem Blute sind folgende Merkmale besonders beachtenswerth. Der Zusatz von Ammoniumsulfid bewirkt langsamer, als in der Vergleichsblutlösung, eine Aenderung des spectroskopischen Verhaltens und erzeugt ein weniger vollständiges Reductionsband. Ist nur eine sehr geringe Menge von Oxyhämoglobin vorhanden, so bleiben nach dem Zusatze des Ammoniumsulfid die Blutbänder bestehen, aber sie erscheinen verwaschen mit verdunkeltem Intervall. Ist viel Oxyhämoglobin vorhanden, so verschwinden die beiden Blutbänder vollständig oder fast vollständig als isolirte Absorptionen; es bildet sich eine einzige, fast das ganze Feld von D bis E ausfüllende Absorption, die entweder gleichmäßig dunkel oder nahe bei D am dunkelsten erscheint. Schüttelt man die Ammoniumsulfidblutlösung mit atmosphärischer Luft, so wird, wenn wenig CO in der Blutlösung vorhanden war, das spectroskopische Bild sehr stark, wenn viel CO vorhanden war, sehr wenig, aber doch etwas verändert. Setzt man zu der mit Ammoniumsulfid vermischten Blutlösung nach der Einwirkung des Reagens noch etwas 10 procentige Kalilauge, so zeigt sich, wenn viel CO vorhanden war, keine Absorption des Hämochromogens oder nur eine Andeutung derselben unter Bleiben der Blutbänder, die nur ein wenig matter und verwaschener als in der ebenso behandelten Vergleichsblutlösung sich zeigen. War wenig CO vorhanden, so zeigt sich der dunkle Absorptionsstreif des Hämochromogens etwa auf der Mitte zwischen D und E, aber weniger dunkel und vor allem weniger breit, als in der ebenso behandelten Vergleichsblutlösung; die beiden Blutbänder verschwinden fast vollständig, bleiben nur als ganz matte Absorptionen schwach erkennbar. Schüttelt man alsdann mit atmosphärischer Luft, so tritt in letzterem Falle, also bei geringem Kohlenoxydgehalte, eine bedeutsame Aenderung des spectroskopischen Verhaltens, in ersterem Falle, bei starkem Kohlenoxydgehalte, eine nur schwache Aenderung desselben hervor.

Zur Ausführung der Untersuchung bereitet man eine Lösung von frischem Rindsblute und 50 Thln. Wasser und gießt 50 ccm in eine 2 bis 4 Liter fassende Glasflasche, nachdem man diese zuvor mit der zu untersuchenden Luft gefüllt hatte. Dann verschließt man und schüttelt nunmehr stark, so daß die Flüssigkeit ringsum an der Wandung sich vertheilt, stellt 2 Minuten hin, schüttelt aufs neue und wiederholt dies 4 bis 5 mal. Dann entleert man die Blutlösung, prüft zunächst die Farbe derselben durch einen Vergleich mit der nicht zur Untersuchung verwendeten Blutlösung und schreitet weiterhin zur spectroskopischen Betrachtung. Zu dieser verwendet man farblose Gläser von 1 cm Weite und prüft bei Tages-

---

[1]) Archiv f. Hygiene 1884, *207.

licht. Zeigt sich beim Zusatz von Schwefelammonium keine Aenderung im Verhalten der Blutbänder, so ist kein Kohlenoxyd vorhanden.

Sehr zweckmäßig ist es auch, die zu untersuchende Luft mit einer Blutlösung zu schütteln, welche man vorher mit Ammoniumsulfid versetzte und in welcher man die vollständig normale Bildung des Reductionsbandes feststellte. Ist in der Luft nur etwas Kohlenoxyd, so wird man nach dem Schütteln in der entleerten Flüssigkeit Kohlenoxyd- und Oxyhämoglobin haben. Letzteres wird allmählich wieder reducirt, ersteres aber nicht, und so bietet sich nach einem Stehenlassen von etwa 15 Minuten ein anderes Bild, als vorher, ehe man die Blutlösung mit der Luft schüttelte. Schüttelt man ferner eine Blutlösung, welche nach der Behandlung mit Ammoniumsulfid und Kalilauge keine Spur der Blutbänder oder des Reductionsbandes, sondern nur die charakteristische Absorption des Hämochromogens darbietet, mit einer Luft, welche auch nur sehr geringe Mengen von Kohlenoxyd enthält, so zeigt sich bei ruhigem Stehenlassen nicht wieder das vorige spectroskopische Bild, sondern eine weniger intensive Absorption des Hämochromogens und daneben mehr oder weniger starke Kohlenoxydhämoglobinbänder. Man kann auf diese Weise noch 0,033 Proc. Kohlenoxyd auffinden.

C. v. Than[1]) bestätigt die Unbrauchbarkeit des Ansell'schen Apparates aus den bereits vom Verfasser (S. 216) angegebenen Gründen und empfiehlt zur Auffindung von Gasausströmungen die Verwendung eines mit kleinem Druckmesser versehenen porösen Thoncylinders, welcher mit einer das Gasgemisch enthaltenden Glocke bedeckt wird. Die Menge des Gases läßt sich annähernd aus der Höhe der in Folge der rascheren Diffusion des Gasgemisches gehobenen Wassersäule erkennen, wie dies mit einem fast gleichen Apparat vom Verf. dieses

---

[1]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1882, *2791. Derselbe hat mit einer 3 cm weiten Glasröhre folgende Versuche über die Explosionsfähigkeit eines Gemisches von Luft und Leuchtgas ausgeführt:

Gehalt an Leuchtgas	Bei der Entzündung beobachtete Erscheinung:
4 Proc.	Das Gemisch war überhaupt nicht entzündlich.
5 „	Die Flamme war kaum sichtbar, pflanzte sich außerordentlich langsam fort und löschte sich gewöhnlich aus, bevor sie das Ende der Röhre erreichte.
6 „	Ruhiges, sich sehr langsam fortpflanzendes Abbrennen.
7 „	Ruhiges, sich langsam fortpflanzendes Abbrennen.
8 „	Ruhiges, aber ziemlich rasches Abbrennen ohne Geräusch.
9 „	Rasches Abbrennen mit einem sausenden Geräusch.
10 „	Sehr rasches Abbrennen mit einem tiefen Explosionsgetöse.
13 „	Explosion mit heftigem pfeifendem Geräusch.
15 „	Heftige Explosion mit dumpfem Knalle.
20 „	Sehr heftige Explosion mit dumpfem Knalle.
25 „	Ruhiges Abbrennen ohne Knall oder Getöse.
30 „	Das Gemisch brennt nur an der Mündung des Gefäßes, ohne daß die Flamme sich ins Innere fortpflanzt.

bereits früher[1]) gezeigt wurde. — Aus denselben Gründen ist der Apparat von Binsfeld (D. R.-P. Nr. 27487) völlig unbrauchbar[2]).

Da es auch neuerdings wiederholt vorgekommen ist, daß bei Rohrbrüchen der Gasleitung Gasausströmungen[3]) auf 15 m und mehr Entfernung durch den Erdboden in Wohnungen stattfinden (vgl. S. 215), so hat H. Bunte[4]) bezügliche Versuche angestellt, aus denen hervorgeht, daß man noch 1 bis 2 Thle. Leuchtgas in 10000 Thln. Luft durch den Geruch erkennen kann. Im Boden verliert das Gas seinen charakteristischen Geruch anfangs, bis der Boden damit gesättigt ist, so daß als sicheres Erkennungszeichen zunächst nur die Palladiumreaction gelten kann (vgl. S. 210).

Saure oder alkalische Industriegase (vgl. S. 216). Nach der Alkaliacte von 1874 darf in englischen Sodafabriken 1 cm der durch den Schornstein entweichenden Gase höchstens 0,454 g Chlorwasserstoff enthalten. Thatsächlich wird die Salzsäurecondensation viel weiter getrieben[5]).

Ueber die Schädlichkeit der Säuredämpfe für den Pflanzenwuchs liegen zahlreiche Arbeiten[6]) vor. Smith hebt hervor, daß säurehaltige Luft namentlich auf schwächliche Personen einen entschieden nachtheiligen Einfluß ausübt.

M. Ogata[7]) untersuchte die Giftigkeit der Schwefligsäure, wie sie der Athemluft in Bleichereien, Ultramarinfabriken[8]), Hopfenschweflungsanstalten, Hüttenwerken, Schwefelsäurefabriken u. dgl. beigemischt sein kann. Während Hirt[9]) offenbar fälschlich angiebt, daß Arbeiter sogar in einer Athemluft, welche 1 bis 3 Proc. Schwefligsäure enthält, lange Zeit völlig gesund bleiben, zeigt Ogata, daß ein Gehalt von 0,04 Proc. nach einigen Stunden Athemnoth bewirkt. Ihm selbst war es nicht möglich, in einer Luft mit 0,05 Proc. Schwefligsäure einen vollen Athemzug zu nehmen. In Luft mit 0,06 Proc. starben Mäuse schon nach 2 Stunden. Die Schwefligsäure ist ein heftiges Blutgift.

G. Witz[10]) zeigt, daß die Schwefligsäure in der Stadtluft den Ozongehalt vermindert und Schwefelsäure bildet, welche Marmor u. dgl. zerstört. In Rouen wird mit Mennige gefärbtes Papier (für Vermiethungsanzeigen u. dgl.) entfärbt

---

[1]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1872, *264; Dingl. Journ. (1877) **223**, 546. — [2]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1885, 422. — [3]) Vergl. Journ. f. Gasbel. 1885, 10, *62 u. 264; 1886, *316; Archiv f. Hygiene 1883, 210. — [4]) Journ. f. Gasbel. 1885, 644; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1886. — [5]) A. Smith: Air and rain (London 1872); A. W. Hofmann: Bericht über die Wiener Weltausstellung; Chemische Industrie (Braunschweig 1875), S. 495; vergl. auch Bull. Soc. d'Encourag. (1879) 6, *68; G. Lunge: Handbuch der Sodaindustrie (Braunschweig) 2, S. 164 und 980; Dingl. Journ. (1880) **236**, 54; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1880, 242 u. 327. — [6]) Daselbst 1880, 253; 1881, 173; 1882, 265; 1883, 273; 1884, 302; Schröder und Reuß: Beschädigung der Vegetation (Berlin, Parey). — [7]) Archiv für Hygiene, 1884, 223. — [8]) Dingl. Journ. (1876) **221**, 468. — [9]) Hirt: Krankheiten der Arbeiter; Gasinhalationskrankheiten (Breslau 1873) 74. — [10]) Bull. Soc. industr. de Rouen 1885, 181; Compt. rend. **100**, 1385.

unter Bildung von Bleisulfat, mit Anilinschwarz und anderen Anilinfarben gefärbte Stoffe werden mißfarbig.

K. B. Lehmann[1]) zeigt, wie völlig falsch die Angaben von Hirt (Gasinhalationskrankheiten) über die Giftigkeit der Salzsäure, des Chlors u. dgl. sind. Schon bei 0,01 Proc. Salzsäuregas in der Luft zeigen sich Reizerscheinungen, bei 0,1 bis 0,15 Proc. sterben Thiere in wenigen Stunden. — Ein kräftiger Mann fand die Luft bereits bei 0,005 Proc. Chlorwasserstoff unerträglich, so daß die Luft in Fabriken höchstens 0,01 Proc. enthalten sollte und nicht, wie Hirt angiebt, bis 1 Proc.[2]).

Ammoniak kommt in Frage bei Eismaschinen, in Leuchtgasfabriken, Ammoniaksodafabriken, bei der Herstellung von Silberspiegeln, in Kattundruckereien u. s. w. Schon bei 0,05 Proc. Ammoniakgehalt der Luft zeigen sich Reizerscheinungen, bei 0,6 Proc. trat der Tod von Thieren zuweilen schon nach $1^1/_2$ Stunden ein. Einige Thiere ertragen mehr. Kohlensaures Ammonium wirkt wie freies Ammoniak. — Menschen können ferner bei einiger Gewöhnung 0,03 bis 0,05 Proc. Ammoniak vertragen. Größerer Ammoniakgehalt ist in Arbeitsräumen jedenfalls unzulässig, da hierbei bereits Entzündungserscheinungen und Brechreiz eintreten.

Arsenwasserstoff hat schon mehrfach tödliche Vergiftungen veranlaßt, wenn bei der Entwicklung von Wasserstoff arsenhaltige Säure oder damit verunreinigtes Zink verwendet wurde.

Schwefelwasserstoff wirkt, concentrirt eingeathmet, rasch tödlich. Nach Versuchen von P. Brouardel[3]) starb ein Hund in 2 Minuten durch Einathmen von 5 Liter einer Luft, welche 2 Vol.-Proc. Schwefelwasserstoff enthielt, ein anderer in $^3/_4$ Stunden durch Einathmen von 100 Liter Luft mit 0,5 Proc. Schwefelwasserstoff.

Ammoniak (zu S. 217). Levy[4]) fand auf der Versuchsstation Montsouris in 100 cbm Luft im Januar 1879 1,9 mg Ammoniakstickstoff, im Februar 2,0 mg, März 1,9 mg, April 2,2 mg und im Mai 2,1 mg Ammoniakstickstoff (14 Stickstoff = 17 Ammoniak). Ferner in:

	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Montsouris	2,1	2,1	2,3	2,4	2,2	1,9	1,7 mg
Père-Lachaise (Capelle)	2,2	2,2	2,3	—	2,1	2,6	— „
Père-Lachaise (Nord)	1,9	2,3	2,5	2,1	2,2	2,8	— „
Gennevilliers	2,2	3,7	3,7	3,7	4,6	3,7	— „
Clichy	1,8	1,7	1,7	1,9	1,9	2,7	— „
Pariser Canäle	—	4,9	—	4,6	—	8,0	9,4 „

Als Jahresdurchschnitt ergab sich ein Gehalt an Ammoniakstickstoff für 100 cbm Luft im Jahre 1877 von 3 mg, im Jahre 1878 von 2,3 und im Jahre 1879 von 1,9 mg. Da Ammoniak ein Fäulnißproduct ist, so ist die Bestimmung

[1]) Archiv f. Hygiene 1886, 16. — [2]) Zum Messen der angesaugten sauren Luft kann man den Apparat von Bonny (Jahresber. 1882, 486) verwenden. — [3]) Compt. rend. (1885) 101, 401. — [4]) Daselbst 91, 94.

desselben bei Luftuntersuchungen in geschlossenen Räumen, städtischen Canälen[1]), der Boden-[2]) bezw. Friedhofsluft[3]) und dergl. beachtenswerth.

A. Müntz und E. Aubin[4]) haben den Gehalt der atmosphärischen Luft und verbrennbaren Kohlenstoffverbindungen dadurch bestimmt, daß sie die zuvor von Kohlensäure und Staubtheilen befreite Luft über bis zur Rothgluth erhitztes Kupferoxyd leiteten und dann die gebildete Kohlensäure bestimmten. Die durch die Verbrennung der Kohlenstoff haltigen Verbindungen gefundene Menge Kohlensäure schwankte in Paris am Conservatoire des Arts et Métier von 0,0003 bis 0,001 Vol.-Proc.; dagegen betrug dieselbe auf der Ebene von Vincennes, wo die Luft nicht wie dort durch Leuchtgas und Producte der unvollständigen Verbrennung verunreinigt ist, nur 0,0002 bis 0,0005, im Mittel 0,00033 Vol.-Proc. Die verbrennbaren Kohlenstoffverbindungen der Luft entsprechen somit etwa 1 Proc. der fertig gebildeten Kohlensäure der Luft.

Staub (zu S. 218). Nachdem es gelungen ist, als Erreger der Cholera[5]), Schwindsucht[6]), Diphteritis[7]) und anderer Krankheiten niedere Organismen nachzuweisen, ist die Prüfung auf diese wichtig geworden.

W. Hesse[8]) verwendete zur Bestimmung der in der Luft enthaltenen Microorganismen eine 70 cm lange und 3,5 cm weite Glasröhre. Ueber das eine Ende der Röhre bindet man zunächst eine mit centralem rundem Ausschnitt von etwa 1 cm Durchmesser versehene straff schließende Gummikappe und über dieselbe eine zweite unversehrte, welche die Röhre an diesem Ende völlig abschließt. In die so vorbereitete Röhre bringt man 50 g Nährgelatine[9]), schließt das offene Rohrende durch einen Kautschukpfropfen, welcher in seiner Durchbohrung ein mit zwei Wattepfropfen versehenes, ungefähr 10 cm langes und 1 cm weites Glasrohr trägt. Die auf diese Weise beschickte Röhre wird in dem von Koch angegebenen Dampfsterilisirungsapparat von allen entwickelungsfähigen Keimen befreit. Nach dem Erkalten spannt man das Rohr ein, verbindet mit einem Aspirator, entfernt die vordere Gummikappe, saugt minutlich 0,3 bis 0,5 Liter

---

1) Vergl. Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1883, 190; Archiv f. Hygiene 1884, 281. — 2) J. Fodor: Luft, Boden und Wasser (Braunschweig 1882); Pettenkofer bezw. Wolfhügel: Zeitschr. f. Biolog. 9, 252; 15, 98; Wollny: Landwirthschaftliche Versuchsstat. 1880, 374. — 3) F. Fischer: Dingl. Journ. 214, 382, 477; Fleck: 3. Jahresber. der chemischen Centralstelle in Dresden (Dresden 1874). — 4) Compt. rend. (1884) 99, 871. — 5) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1071. — Fodor fand, daß in den Häusern mit schmutzigen Höfen Cholera und Typhus eine etwa dreimal so große Sterblichkeit der Einwohner verursacht, wie in den nebenan gelegenen, mit rein gehaltenen Höfen, ferner, daß in den schmutzigen Wohnungen die Cholera nahezu die fünffache, der Typhus mehr als die dreifache Sterblichkeit verursacht wie in Häusern mit reinen Wohnungen. Der Schmutz in den Wohnhäusern, Höfen und Wohnungen ist somit von wesentlichen Einfluß auf die Verbreitungsart der Cholera und des Typhus. (Archiv f. Hygiene 1884, 257.) — 6) D. M.-Ztg. 1884, 1. — 7) Ztschr. f. d. Chem. Industrie 1887, 72. Archiv für Hygiene 1884, 120. — 8) Mittheil. a. d. Kais. Gesundheitsamte 2, 182. — 9) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1883, 1019.

Luft hindurch und bringt die abgesetzten Keime zur Entwickelung [1]). Versuche zeigten, daß der Luftstrom um so ärmer an Keimen wird, je weiter er sich in der Röhre fortbewegt, bis er endlich gar keine Keime mehr enthält und daß der Weg, den die Keime zurücklegen, um so kürzer ist, je schwächer der Luftstrom gewählt wird. Am raschesten setzen sich die Bakterien ab, welche somit schwerer sind als Pilzsporen. Mitten in Berlin, im Freien, waren bei trockener Witterung in 20 Liter Luft höchstens 20 und mindestens 4 Keime enthalten, durchschnittlich etwa 10 Keime, von denen die Hälfte sich zu Pilzcolonien entwickelte. Bei feuchtem Wetter nahm die Zahl der Keime auffallend ab, und waren die zur Entwickelung gelangenden Colonien überwiegend Pilze. Die Berlin verlassende Luft enthielt mehr Keime, als die in die Stadt einziehende, desgleichen enthielt die höhere Luftschicht Berlins (100 m Höhe) weniger Keime (in 20 Liter 16, darunter 5 Pilze) als die unterste Luftschicht (in 20 Liter 44 Keime, darunter 16 Pilze). — Luft aus einem Krankensaale gab in 5 Liter 60 Colonien, darunter 5 Pilze. Die aus einem Hadersortirsaale entnommenen Luftproben enthielten massenhafte Bakteriencolonien, deren Verhältniß zu den Pilzcolonien wegen der Ueberschwemmung der Gelatine mit Colonien (Tausende aus 1 Liter Luft) auch nicht annähernd zu bestimmen war.

Giacosa [2]) fand in der Luft auf 2300 bis 2700 m hohen Bergen weit weniger Spaltpilze, aber fast ebenso viel Schimmelpilzsporen als in der Ebene. — Miquel und Freudenreich [3]) fanden auf Schweizer Bergen im Gegensatz zu Paris in 10 cbm Luft:

auf einer Höhe von 4000 bis 2000 m .	0	Bakterien
auf dem Thunersee (560 m)	8	"
am Hotel Bellevue (500 m)	21	"
in einem Zimmer des Hotels	600	"
im Park de Montsouris	7 600	"
in Paris, Rue de Rivoli	55 000	"

Durch Gefrieren werden die Bakterien nicht getödtet. Letzteres bestätigt auch J. Colemann [4]), während nach Duclaux [5]) dieselben in Flüssigkeiten selbst 20 Jahre lang lebendig bleiben können, im Sonnenlichte aber innerhalb weniger Stunden getödtet werden.

Nach E. Ch. Hansen [6]) enthielt die Luft im Garten der Carlsberger Bierbrauerei Eurotium Aspergillus glaucus, Aspergillus fumigatus, Penicillium glaucum und cladosporioides, Mucor racemosus und stolonifer, Botrytis cinerea, Cladosporium herbarum, Oidium lactis u. a. noch wenig bekannte Pilze, ferner Saccharomyces cerevisiae, elipsoideus, exiguus, Pasto-

[1]) Vergl. F. Hueppe: Methoden der Bakterienforschung (Wiesbaden 1885); C. Flügge: Hygienische Untersuchungsmethoden (Leipzig 1881); Les organismes vivants de l'atmosphère, von P. Miquel (Gauthier-Villars, Paris); J. Arnould: Nouveaux éléments d'hygiène (Paris 1881), p. 225 et 249. — [2]) Biolog. Centralbl. 1884, 730. — [3]) Arch. des sc. phys. et nat. 12, 365; Chem. Centralbl. 1885, 200; Med. chir. Rundsch. 1884, 12. — [4]) Chem. News 52, 61. — [5]) Compt. rend. 100, 184; 101, 395. — [6]) Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet (Kopenhagen 1882), 197; Fischer's Jahresber. d. chem. Techn. 1882, 865.

rianus, Mycoderma und apiculatus, sowie Bacillus subtilis, und ruber, Bacterium Kochii, pyriforme, und Carlsbergense u. A. Von feuchter Fläche heben sich die Mikroorganismen nicht ab [1]).

Dem entsprechend ist die Seeluft nach Miquel [2]) frei von Mikroorganismen, nach Versuchen des Verfassers [3]) auch Canalluft.

Für die Reinigung der Luft von Staub ist die Beobachtung von Guitard [4]) bemerkenswerth, daß der Staub durch Elektricität niedergeschlagen wird, ein Verfahren, welches u. a. zur Gewinnung von Flugstaub technisch verwendet wird [5]). Wichtig ist ferner die Beobachtung von Tyndal und Aitken [6]), daß Staub von warmen Flächen abgestoßen wird, auf kühlen Flächen sich aber absetzt, eine Beobachtung, welche Schlösser [7]) zum Niederschlag von Flugstaub ausnutzt.

Luftuntersuchung für Heizungs- und Lüftungszwecke. Für die Beurtheilung der Luft in geschlossenen, zum zeitweiligen oder fortwährenden Aufenthalt von Menschen dienenden Räumen, in denen aber die S. 306 erwähnten schädlichen Industriegase nicht in Frage kommen, ist Folgendes zu berücksichtigen.

Bezüglich des Sauerstoffgehaltes der Luft wurde bereits von Regnault und Reiset (vergl. S. 230) gezeigt, daß Thiere erst bei einem Gehalte von 10 Proc. Sauerstoff der Athemluft anfingen, schneller zu athmen, daß aber bei 4 bis 5 Proc. Erstickungserscheinungen eintraten. Nach W. Müller [8]) wird das Athmen erst bei 5 bis 7,5 Proc. Sauerstoff beschwerlich, während er, wie auch Friedländer und Herter [9]) bei 15 Proc. Sauerstoff noch keine Einwirkung auf den Athmungsproceß feststellen konnten. Ist aber der Sauerstoffgehalt der Athmungsluft um 4 bis 7 Proc. herabgesetzt und dauert der Aufenthalt in solcher Luft einige Zeit, so findet nach Herter [10]) eine Verminderung der oxydirenden Processe im menschlichen Körper statt, welche jedoch durch Erhöhung der Respirationsthätigkeit ausgeglichen werden kann. Solche beträchtliche Verringerungen des Sauerstoffgehaltes kommen aber nur unter ganz besonderen Verhältnissen in Räumen (z. B. Gruben) vor, in welchen sich Menschen aufhalten. — Andererseits haben Filipow [11]), Saint-Martin [12]) und Lukjanow [13]) gezeigt, daß ein höherer Gehalt als 21 Proc. Sauerstoff ohne Einfluß auf den Menschen ist.

Von Kohlensäure müssen schon beträchtliche Mengen in der Athemluft zugegen sein, bis eine Wirkung derselben auf den thierischen Organismus eintritt. Nach Versuchen von Friedländer und Herter treten beim Einathmen einer

---

1) Wohl aber können die Spaltpilze nach Marpmann durch Fliegen verbreitet werden (Archiv f. Hygiene 1884, 360). — 2) Journ. de pharm. et chim. 1886, 124. — 3) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1883, 1191. — 4) Mech. Mag. 1850, 346. — 5) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1885, 142. — 6) Roy. Soc. Edinb. 1884; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1307. — 7) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1885, *143. — 8) Liebig's Ann. (1858) 108, 257. — 9) Zeitschr. f. physiol. Chem. 1879, 19 u. 145. — 10) Virchow's Archiv 1882, 290; Fortschr. d. Medicin 2, 274. — 11) Archiv f. d. ges. Physiolog. 34, 335. — 12) Compt. rend. 98, 241. — 13) Zeitschr. f. physiol. Chem. 8, 313.

Luft mit 20 Proc. Kohlensäure während einer Stunde noch keine eigentlich giftigen Wirkungen auf, sondern nur eine Reizung der Athmungsorgane und Steigerung der Herzarbeit. Die Luft im Sooldunstbade zu Oeynhausen bei Hannover enthält mehrere Procente Kohlensäure und doch wird sie ohne die geringsten Beschwerden 30 bis 60 Minuten lang eingeathmet; die Luft in Gährkellern enthält oft 4 Proc. Kohlensäure, Mengen, welche in Wohnräumen, Theatern und dergleichen nicht vorkommen.

Da somit die quantitative Veränderung der normalen Luftbestandtheile nicht groß genug ist, um einen übeln Einfluß der Luft in Wohnräumen zu erklären, so nahm man an, daß der Mensch außer der Kohlensäure noch gasförmige Stoffe ausscheide, welche bereits in sehr geringen Mengen in seiner Athemluft enthalten und wieder eingeathmet, nach kürzerer oder längerer Dauer eine Art von giftiger Wirkung auf ihn ausübten. Da aber die bisherigen wenigen in dieser Richtung ausgeführten Versuche keineswegs beweisend sind, so hat Hermans[1]) die Luft aus einem dicht verschlossenen Kasten von 1,6 cbm Inhalt, in welchem sich 1 bis 2 Personen einige Stunden lang aufhielten, wiederholt untersucht. Wurde die gebildete Kohlensäure nicht theilweise durch Natronlauge oder Aetzkalk entfernt, so stieg der Gehalt der Luft bis 5 Proc. derselben. Dabei ergab sich, daß nur dann die ersten bemerkbaren Erscheinungen der Athemnoth erfolgten, wenn der Kohlensäuregehalt der Kastenluft mindestens 3 Vol.-Proc. betrug. Dabei war es vollkommen gleichgültig, bis zu welchem Procentsatze der Sauerstoffgehalt vermindert wurde, so zwar, daß bei einem Gehalte der Luft von 10 Proc. Sauerstoff durchaus keine unangenehmen oder übeln Empfindungen wahrgenommen wurden, so lange eben keine 3 Proc. Kohlensäure anwesend waren (vergl. S. 201).

Fernere Versuche zeigten, daß der normale und gesunde Mensch keine nennenswerthen Mengen von flüchtigen verbrennlichen Stoffen an die ihn umgebende Luft abgiebt und daß, wenn letzteres geschieht, dies zunächst zurückzuführen ist auf die Entwickelung von Gasen, welche bei einer mangel- oder fehlerhaften Verdauung im Darme, hauptsächlich in Folge von unzweckmäßiger Ernährung erzeugt werden, oder welche ihre Entstehungsursache in Zersetzungsvorgängen von Abscheidungsproducten an der Körperfläche, also außerhalb des Körpers (bei schmutziger Haut, Kleidern und dergleichen) haben.

Jedenfalls ist eine Lüftung von Räumen, in denen sich Menschen aufhalten, erforderlich, wegen Bildung von Wasserdampf und Wärme. Zwar ist es bekannt, daß in schlecht gelüfteten Räumen selten eine vollkommene Sättigung der Luft mit Wasserdampf beobachtet wird, weil eben meist die Wände und namentlich die tieferen Theile jener Räume und die darin vorhandenen Gegenstände eine niedrigere Temperatur besitzen als die umgebende Luft, so daß eine Condensation von Wasserdampf und Durchfeuchtung dieser kühleren Theile eintritt, auf denen sich nun die im Staube vorhandenen niederen Organismen (S. 308) entwickeln können. Es ist anzunehmen, daß der mehr oder weniger übele, dumpfe Geruch in nicht gelüfteten Räumen vielfach in diesem Verhalten seine Ursache findet. In größerem Maße kann man bekanntlich das Auftreten von riechenden Stoffen

[1]) Archiv f. Hygiene 1883, 1.

wahrnehmen bei einer sichtbaren Durchfeuchtung einzelner Theile oder Flächen unserer Wohnung oder bei dem Vorhandensein feuchter oder nasser, mit mehr oder weniger Staub beschmutzter Kleidungen[1]), alles Umstände, unter denen sich Spalt- und Schimmelpilze entwickeln. Alle Erfahrungen sprechen dafür, daß trockene Zimmerluft angenehmer und gesunder ist als zu feuchte[2]), was bei Bestimmung der Luftfeuchtigkeit (S. 299) wohl zu beachten ist. Die Bestimmung der Kohlensäure (S. 202, oder näherungsweise S. 301) hat, wie bereits S. 208 angegeben; nur indirecten Werth, indem ein auffallend hoher Kohlensäuregehalt die schädlichen Luftverunreinigungen andeutet, welche wir noch nicht direct bestimmen können. Hier wird die, bis jetzt noch wenig ausgebildete mikroskopische Untersuchung (S. 309) eintreten müssen.

Mit der Bereicherung der Luft an Wasserdampf verhindert die ebenfalls eintretende Temperaturerhöhung derselben bei längerem Aufenthalte des Menschen selbstverständlich dessen zweckmäßige Abkühlung und zwar um so mehr, je ungünstiger — z. B. in stark überfüllten Räumen, wo die Menschen eng an einander sitzen oder stehen — die Bedingungen für die Wärmeabgabe durch Strahlung sind. Unter solchen Verhältnissen kann die Körpertemperatur des Menschen sich leicht um 0,3 bis 0,6° erhöhen, was namentlich bei längerer Einwirkung, ganz abgesehen von dem Einflusse auf die Stoffzersetzungen, auf die nervösen Centralorgane, besonders die des Gefäßsystemes, mannigfache Wirkungen ausübt. Es ist wohl sicher, daß Ohnmachtsanfälle und dergleichen, welche in ungenügend gelüfteten Räumen mitunter beobachtet werden können, vorzüglich eine Folge der ungenügenden Abkühlung sind.

Zur Wärmemessung.

Metallthermometer sind in den letzten Jahren wieder eine ganze Anzahl vorgeschlagen.

Beim Metallthermometer von Zabel u. Comp.[3]) wird die verschiedene Ausdehnung eines Messingrohres und eines Stahlrohres auf einen Zeiger übertragen (vergl. S. 10). Bei dem Pyrometer von Schütte (*D. R.-P. Nr. 24 781) wirkt die Ausdehnung eines an einem Ende befestigten Rohres auf den Zeiger. Tremeschini[4]) benutzt die Ausdehnung eines dünnen Platinbleches durch einen, der zu messenden Wärme ausgesetzten Kupferblock.

L. Strube (*D. R.-P. Nr. 8562) übertrug die Drehung einer Metallspirale aus Messing- und Stahlblech auf einen Zeiger.

Bei dem Metallthermometer von E. Wood Upton in Peabody (*D. R.-P. Nr. 34 158) wird der Zeiger durch die Ausdehnung oder Zusammen-

[1]) Vergl. Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1141. — [2]) Daselbst 1883, 1192; 1885, 1322 u. 1324; Zeitschr. f. d. Chem. Ind. 1887, Heft 7 u. 9. — [3]) *D. R.-P. Nr. 9314 u. 9751; Dingl. Journ. (1880) **244**, *439. — [4]) Portefeuille économ. des machin. 1884, *64; Dingl. Journ. (1885) **254**, *158.

ziehung von Metallspiralen bewegt. Damit das Thermometer flach wird, liegt die Achse der Spirale parallel zum Zifferblatte.

Guichard u. Comp.[1]) beschreiben eine Zeigerbewegung für Metallthermometer mit einer aus mehreren Metallen hergestellten Spirale (vergl. S. 8).

Um an Metallthermometern den Einfluß der wechselnden Temperatur der Umgebung auszugleichen, verwenden Gebr. Richard in Paris (*D. R.-P. Nr. 26758) einen Compensator, welcher aus einem zweiten, dem ersten ähnlichen elastischen Theile, also einem Rohre oder einer Kapsel besteht, so daß die Bewegung, welche derselbe in Folge äußerer Temperaturschwankungen macht, die des ersten Theiles aufhebt.

Das Graphitpyrometer von Trampler[2]) ist nicht nennenswerth verschieden von den Steinle und Hartung'schen (S. 10). Steinle und Hartung selbst (*D. R.-P. Nr. 9317) wollen statt des Graphitstabes solche von Thon, Glas, Gyps, Asbest und dergleichen verwenden.

Dankers (*D. R.-P. Nr. 32089) benutzt die Ausdehnung einer Metallstange zur Wärmemessung in Malzdarren. Wagner (*D. R.-P. Nr. 16559) will mit seinem sogenannten Telethermoindicator die von einer Metallspirale gemessene Wärme nach Art der Haustelegraphen auf größere Entfernungen ablesen.

Alle Metallthermometer sind unzuverlässig, so daß sie besser überhaupt nicht angewendet werden.

Quecksilberthermometer. Nach J. M. Crafts[3]) wird die bekannte Erhöhung des Nullpunktes an neuen Thermometern nicht durch den Luftdruck, sondern durch Ausgleich der Spannungen im Glase der Thermometerkugel veranlaßt, da mit Luft gefüllte Thermometer dieses Verhalten ebenso zeigen als luftleere. Darnach muß ein Quecksilberthermometer, welches zu gewöhnlichen Beobachtungen zwischen 0 und 360° verwandt werden soll, eine Woche hindurch in siedendem Quecksilber, und zwar mit der ganzen Röhre, gehalten werden, ehe man die Punkte 100 und 0 feststellen und graduiren darf. Aehnlich sind Thermometer zu behandeln, die für Temperaturen von 0 bis 100° dienen sollen, und zwar muß man diese Wochen lang auf 100° erwärmt halten (oder kürzere Zeit auf ungefähr 156° in Terpentin). Dabei dürfen die Thermometer nicht in Berührung mit Wasser erwärmt werden. Bei dieser Behandlungsweise kann man sich leicht einen Schluß auf die Reinheit des Quecksilbers machen, da, wenn das Quecksilber nicht vollständig rein war, die Quecksilbersäule beim längeren Erwärmen sich theilt.

Um Temperaturen zwischen 150° und 360° festzustellen, erweist sich die Anwendung von Naphtalin und Benzophenon am geeignetsten. Die folgende

---

[1]) Revue industr. 1884, *161. — [2]) Portefeuille econom. des machin. 1884, *64. — [3]) Compt. rend. 91, 291 et 574; **94**, 1298; **95**, 836 et 910; Bull. Soc. chim. (1883) **39**, 196 et 277; Americ. Chem. Journ. 1884, 307.

Tabelle giebt die Siedepunkte von Naphtalin und Benzophenon unter verschiedenen Drucken in Millimetern Quecksilber (reducirt auf 0°).

Naphtalin				Benzophenon			
Temp.	Millimeter	Temp.	Millimeter	Temp.	Millimeter	Temp.	Millimeter
215,8	722,05	217,2	745,41	303,8	724,77	305,2	746,24
216,0	725,34	217,4	748,80	304,0	727,80	305,4	749,36
216,2	728,45	217,6	752,20	304,2	730,86	305,6	752,47
216,4	731,98	217,8	753,90	304,4	733,92	305,8	755,60
216,6	735,32	218,0	759,02	304,6	736,98	306,0	758,74
216,8	738,67	218,2	762,46	304,8	740,06	306,2	761,90
217,0	742,03	218,4	765,91	305,0	743,14	308,4	765,06

Bei Bestimmungen des Siedepunktes ist die unmittelbare Einwirkung der Dämpfe auf das Thermometergefäß möglichst zu vermeiden, was leicht dadurch gelingt, daß man das Thermometergefäß in ein enges, unten geschlossenes Röhrchen aus ganz dünnem Blech einschiebt. Ein Umgeben des ganzen unteren Thermometertheiles mit einer solchen Metallhülse, die oben mit der Atmosphäre in Berührung ist, bietet, namentlich auch bei Siedepunktsbestimmungen bei vermindertem Druck, den Vortheil, daß die Verschiedenheit des im Inneren des Thermometers und außen herrschenden Druckes eine viel geringere ist und somit eine Correctur für den Einfluß des Druckes auf den Thermometerstand unterbleiben kann. Die Zusammendrückbarkeit des Thermometergefäßes kann man annähernd durch Bestimmung derselben Temperatur mit einem Thermometer in horizontaler und dann in verticaler Lage ermitteln. Die Differenz des Thermometerstandes bei diesen beiden Bestimmungen ist hervorgerufen durch den bei der verticalen Stellung wirkenden Druck der in der Röhre befindlichen Quecksilbersäule auf das Thermometergefäß. Dieser Einfluß ist ein um so größerer, je länger das Thermometer, je länger also bei einer gewissen Temperatur die Quecksilbersäule ist.

Will man die mit dem Quecksilberthermometer ermittelten Temperaturen auf das Luftthermometer beziehen, so sind die bekannten Tabellen von Regnault nicht mehr verwendbar, da jetzt andere Glassorten üblich sind [1]).

Pernet [2]) empfiehlt, die Differenz der Fixpunkte als die richtigste anzunehmen, welche man erhält, wenn beide Punkte am Ende einer Reihe von abwechselnden Bestimmungen des Siedepunktes und des Gefrierpunktes einen

---

[1]) Vergl. Zeitschr. f. analyt. Chem. 1884, 527. — [2]) Trav. et mém. du Bureau internat. du poids et mesures (Paris 1881) p. 52; Carl's Repert. 11, 308; Zeitschr. f. Instrumentenk. 3, 41.

constanten (tiefsten) Stand erreicht haben. Es ist zu bemerken, daß dabei immer die Siedepunktsbestimmung der des Eispunktes vorausgehen muß, und daß vor der eigentlichen Bestimmung des Siedepunktes das Thermometer jedesmal längere Zeit auf 100° erhitzt werden soll.

Bei der Ausführung einer genauen Temperaturbestimmung ist es nöthig, nach dem Ablesen der Thermometerangabe bei der zu messenden Temperatur, jedesmal auch eine Nullpunktsbestimmung vorzunehmen. Die so gefundene Differenz der directen Temperaturablesung und des für dieselbe gültigen Nullpunktes ist zu beziehen auf die Gradeinheit, wie sie sich aus dem oben angegebenen richtigen Abstande von 0° und 100° ergiebt.

Rud. Weber[1]) zeigte zuerst, daß diese thermischen Nachwirkungen von der Zusammensetzung des verwendeten Glases abhängen, daß namentlich die sehr leicht flüssigen Alkali-Kalkgläser am ungeeignetsten, reine Kaligläser mit reichlichem Gehalte von Kieselsäure dagegen recht geeignet zur Herstellung von Thermometern sind.

Nach H. F. Wiebe[2]) ist es unter seiner Mithülfe Abbe und Schott in Jena gelungen, drei Glassorten herzustellen, welche sich besser als irgend ein anderes Glas zur Herstellung von Quecksilberthermometern mit unveränderlichem Nullpunkte eignen. Die Zusammensetzung dieser Gläser, von denen sich namentlich das erste leicht vor der Lampe verarbeiten läßt, ist folgende:

	I.	II.	III.
SiO_2	67,50	69,00	52,0
Na_2O	14,00	14,00	—
ZnO	7,00	7,00	30,0
CaO	7,00	7,00	—
Al_2O_3	2,50	1,00	—
BO_3	2,00	2,00	9,0
K_2O	—	—	9,0
	100,00	100,00	100,0

Wiebe hat gefunden, daß Kali und Natron bei der Zusammensetzung von Thermometerglas einander nur ganz vollständig ersetzen dürfen, daß dagegen die theilweise Ersetzung unter Festhaltung der übrigen Bestandtheile auf die thermometrischen Eigenschaften nur ungünstig wirkt, indem sie die Nachwirkungserscheinung steigert. Diese Steigerung ist um so größer, je mehr sich das Verhältniß der Alkalien zu einander der Gleichheit nähert.

Von den Verwendungen des Quecksilberthermometers sind noch folgende zu erwähnen:

A. Eichhorn (*D. R.-P. Nr. 14128) umgiebt das Thermometergefäß mit einer metallenen, luftleeren Schutzhülle. — Die Thermometerformen von Suckow (*D. R.-P. Nr. 22250), Dehne (*D. R.-P. Nr. 23845), Dreyer (*D. R.-P. Nr. 23633), Rest (*D. R.-P. Nr. 24435), Schulze (D. R.-P. Nr. 25975), Immisch (*D. R.-P. Nr. 19785) u. A.[3]) werden schwerlich praktische Be-

[1]) Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. 1883, 1233. — [2]) Daselbst 1884, 403; 1885, 1021. — [3]) Vergl. Dingl. Journ. 251, 412; 254, 160; Fischer's Jahresber. 1884, 1276.

deutung erlangen[1]). Ganz unbrauchbar ist das Thermometer von Meyer (*D. R.-P. Nr. 11270).

Brydges (*D. R.-P. Nr. 17059) empfiehlt eine Vorrichtung, den Thermometerstand fortlaufend photographisch aufzuzeichnen.

Um die Temperaturen auf größere Entfernungen hin zu ermitteln (Telethermometer), verbindet J. Salleron[2]) die Thermometerkugel durch ein beliebig langes kupfernes oder eisernes Capillarrohr mit dem aus Glas hergestellten Beobachtungsrohr. Neben dieser Capillarröhre liegt eine völlig gleiche mit derselben Flüssigkeit gefüllte, welche wie die erste in ein eingetheiltes Glasrohr endigt, aber nicht mit einer Thermometerkugel verbunden ist. Der Unterschied der Angaben beider Flüssigkeitssäulen entspricht somit derjenigen der Kugel, welche der zu messenden Temperatur ausgesetzt ist. — H. Kolbe (*D. R.-P. Nr. 13166 und 16641) verbindet das Thermometer mit elektrischer Lärmvorrichtung; desgleichen L. Thieme (*D. R.-P. Nr. 22055).

Fig. 227.

Min. Max. B A

Das Maximum- und Minimumthermometer von H. Kapeller in Wien (D. R.-P. Nr. 21082) ist ein gewöhnliches Weingeistthermometer mit geradem Rohre, welches am unteren und am oberen Ende eine Erweiterung besitzt; letztere füllt sich etwa bis zur Hälfte mit Weingeist. Der Weingeistfaden ist ungefähr in der Mitte durch einen kurzen Quecksilberpfropfen unterbrochen; indem dieser bei eintretender Temperaturänderung mit dem Weingeist nach oben oder unten wandert, schiebt er zwei über und unter dem Quecksilberpfropfen in das Thermometerrohr eingelassene und darin durch federnde Glasfäden mit Reibung bewegliche Marken vor sich her; dieselben werden von kleinen, in Glasröhrchen eingeschmolzenen Stahlkörpern gebildet.

Jede Marke wird nur so lange verschoben, als das Quecksilber sie berührt, die obere also, so lange die Temperatur steigt, die untere umgekehrt, und es bleibt die Marke in ihrer zuletzt innegehabten Stellung zurück. Sollen die Marken für eine neue Beobachtung wieder eingestellt werden, so zieht man sie mit Hülfe eines Magnetes gegen den Quecksilberfaden.

R. Fueß in Berlin (*D. R.-P. Nr. 26606) füllt das gegabelte Thermometergefäß A (Fig. 227) mit Quecksilber; die Capillarröhre B ist mit Alkohol gefüllt und läuft oben in eine Erweiterung aus, welche etwas Luft enthält. Der Quecksilberfaden c, welcher von dem Quecksilberfaden des Gefäßes durch die untere Alkoholsäule getrennt ist, deren Länge etwas größer genommen wird, als die Endpunkte der Temperaturen von einander entfernt sind, stößt die Marke n für die Mindesttemperaturen nach unten und die Marke x für die Höchsttemperaturen nach oben; c hat die Länge von 10 Skalengraden. Die Striche der Skalen sind sowohl hinter dem sehr dünnen Capillarrohre, als auch zu beiden Seiten des-

---

[1]) Ebensowenig das neue Drehthermometer (vergl. S. 31) von Kuntze (*D. R.-P. Nr. 7473). — [2]) Bull. de Mulhouse 1879, 593.

selben sichtbar und verlaufen in ununterbrochenem Zuge; die eine Seite der Skala gilt für die geringsten, die andere für die höchsten Temperaturen. Die Bezifferungen der beiden Skalen sind um 10° gegen einander verschoben.

J. Murrie (*D. R.-P. Nr. 32903) will zur Messung von Temperaturen bis 800° das Thermometer mit Quecksilber und Wasser ganz füllen. Ersteres soll das Wasser zusammenpressen und dadurch am Sieden verhindert werden. — Der Apparat ist anscheinend gar nicht praktisch verwendbar. — Das von demselben (*D. R.-P. Nr. 34619) vorgeschlagene lange Thermometer ist nicht neu.

Grübelbach (*D. R.-P. Nr. 9760) überträgt die Ausdehnung des in einem geschlossenen Metallbehälter befindlichen Quecksilbers durch Plattenfeder und Stange auf ein Zahnrad mit Zeiger. Die Messungen mit dieser Vorrichtung sind offenbar unzuverlässig.

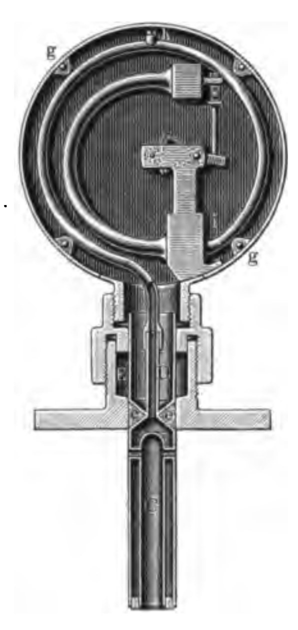
Thalpotasimeter. Pictet (S. 40) machte bereits den Vorschlag, die Wärme mittels des Druckes zu bestimmen, welchen der Dampf verschiedener Flüssigkeiten ausübt. In gleicher Weise verwendet nun J. W. Klinghammer in Braunschweig (*D. R.-P. Nr. 8101, 8315 und 9285) ein enges, unten geschlossenes, oben S-förmig gebogenes Metallrohr, welches, mit einem Manometer versehen und dessen kurzer Schenkel völlig, der lange aber zu $^2/_3$ des Rauminhaltes mit einer entsprechenden Flüssigkeit gefüllt ist. Aus der am Manometer abgelesenen Spannung wird die Temperatur bestimmt:

1. Von —65° bis +12,5° bei Eingabe von flüssiger Kohlensäure in das Rohr *cd*. Der Schenkel *ab* wird mit Quecksilber gefüllt. Das Manometer ist von 0 (—65°) bis 50 At. (12,5°) zu theilen.
2. Von —10° bis +100° bei Eingabe von Schwefligsäureanhydrid. Der Schenkel *ab* wird mit Quecksilber gefüllt. Das Manometer ist von 0 bis 20 At. zu theilen.
3. Von +35° bis 120° bei Eingabe von wasserfreiem Aethyläther in das Rohr *cd*. Der Schenkel *ab* wird für den Fall, daß der Apparat in Räumen benutzt wird, deren Temperatur 20° überschreitet, mit Quecksilber gefüllt. Das Manometer ist von 0 bis 12 At. zu theilen.
4. Von 100° bis 226° bei Eingabe von destillirtem Wasser in die Rohrschenkel *ab* und *cd*. Das Manometer ist von 0 bis 25 At. zu theilen.
5. Von 216° bis 360° bei Eingabe von bei 210° siedenden schweren Petroleumölen (Tridecan $C_{13}H_{28}$, Siedepunkt 216°) in beide Rohrschenkel *ab* und *cd*. Das Manometer ist von 0 bis 50 At. getheilt.
6. Von 357° bis 780° bei Quecksilberfüllung.

Die Eintheilung des Instrumentes geschieht mittelst hydraulischer Druckmessung nach Atmosphären und Eintragen der dem Druck nach Regnault entsprechenden Temperatur des betreffenden Dampfes auf der Skale. Der Flüssigkeitsbehälter *C* (Fig. 228 a. f. S.), welcher auch durch ein unten verschlossenes Rohr ersetzt werden kann, steht mit dem Rohre *D* in Verbindung, welches sich in der Manometerkapsel fortsetzt, dort in einem Bronzestück eingelöthet und durch dieses hindurch mit einer Bourdon'schen Feder verbunden ist, welche auf einen Zeiger wirkt. Um das Rohr vor Abkühlung zu schützen, ist ein Rohr *E* mit Zinnloth bei *e* derart eingelöthet, daß *C, E* und die verbindende Löthstelle gleichen Durchmesser haben. Von der Oeffnung *h* aus wird nun die Feder und das Rohr *hi*

völlig, das Gefäß C zu $^2/_3$ mit Kohlenwasserstoff oder Wasser gefüllt, dann wird h verschraubt und verlöthet. Rohr und Feder werden nun in die Kapsel g eingelegt, schließlich wird eine Flansche angeschraubt zur Befestigung des Instrumentes an den betreffenden Apparaten. Die Scale ist vor der Füllung des Apparates mit Hülfe pneumatischen Druckes in Millimeter eingetheilt und sind danach die Wärmegrade eingetragen. — Versuche, welche Verfasser mit einem solchen Apparate ausführte, bestätigten die Ungenauigkeit dieser Vorrichtungen.

Fig. 228.



Ob die auf gleichen Grundsätzen beruhenden Dampfdruckthermometer von W. Thomson[1]) und Perrier[2]), welche mit Schwefligsäure, Wasser oder Quecksilber gefüllt sind, genauer sind, steht dahin.

Luftthermometer[3]). H. St. Deville und L. Troost[4]) haben an ein cylindrisches Gefäß von Porzellan, welches etwa 50 ccm faßt, eine Capillare, ebenfalls von Porzellan, angeschmolzen, welche vermittels eines Dreiweghahnes einmal mit der äußeren Luft, bezw. einem offenen Wassermanometer, und dann mit einer Sprengel'schen Pumpe in Verbindung gesetzt werden kann. Dieses Gefäß, mit Stickstoff gefüllt, wird in einer weiten Röhre von feuerfestem Material in einem Petroleumofen mit genau regulirbarem Zufluß auf die zu messende Temperatur erwärmt und, sobald man keine Druckschwankungen mehr bemerkt, wird durch die Sprengel'sche Pumpe der Stickstoff in eine Meßröhre von constanter Temperatur übergeführt. Der Einfluß des schädlichen Raumes der Verbindungscapillare wird durch eine besondere gleich weite Röhre, Compensator genannt, aufgehoben. Sie ist an ihrem unteren Ende geschlossen und oben mittels eines Dreiweghahnes gerade so wie die Thermometerröhre mit der Sprengelpumpe verbunden. Man schließt den Hahn des Compensators in demselben Augenblicke wie den des Thermometers, und nach dem Auspumpen des letzteren bestimmt man auf ganz die gleiche Weise das Volum des Stickstoffes im Compensator, welches gleich ist dem des schädlichen Raumes. Endlich zieht man dasselbe von dem zuerst gefundenen Stickstoffvolumen ab und erhält genau den im Thermometerkörper selbst enthaltenen Stickstoff. Zur Reduction der Gasvolumen auf Normaldruck und Temperatur dient die bekannte Formel $V = \frac{V_0 (1 + kt) H}{(1 + \alpha t) 760}$, wo V_0 das

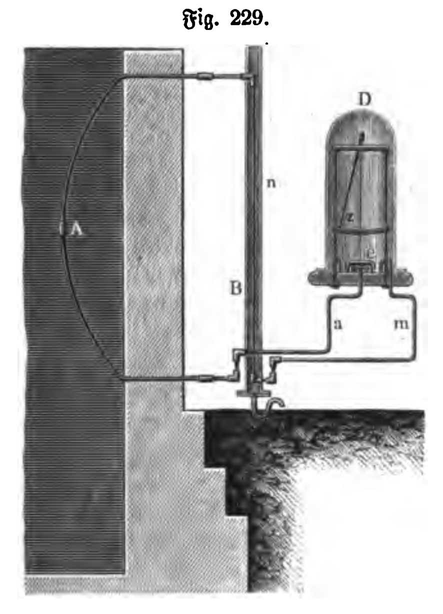
[1]) Proc. Roy. Soc. Edinb. (1880) **106**, 432, 539. — [2]) Compt. rend. **91**, 538. — [3]) Das offene Luftthermometer von Dufour (Engineer **50**, 329) mit berußter Kugel ist praktisch werthlos. — [4]) Compt. rend. (1880) **90**, **77**, **727**, **737**; vergl. Chem. Centralbl. 1880, 290.

Volum des Porzellangefäßes (d. h. das Volum der aus dem ganzen Apparate ausgepumpten Luft minus der des Compensators, alles auf 0° und 760 mm bezogen), V das Volum der bei t^0 im Porzellangefäß (minus Compensator) gebliebenen Luft, ebenfalls auf 0° und 760 mm reducirt, und k die Summe des Coëfficienten der normalen und permanenten Ausdehnung [1]).

Besser ist das Verfahren von F. Meier und J. M. Crafts [2]), den in dem Porzellanbehälter zurückbleibenden Stickstoff durch Einleiten von Chlorwasserstoff auszutreiben und in einer getheilten Röhre über Wasser aufzufangen und so zur Messung zu bringen (vergl. S. 32).

Das offene Luftpyrometer von F. Wiske (*D. R.-P. Nr. 10065) verwendet die Gewichtsunterschiede zwischen erhitzter und freier Luft. Zu diesem Zweck wird ein etwa 3 m langes Gasrohr A (Fig. 229) in den Schornstein oder dergleichen gebracht, dessen Enden wagerecht nach außen gehen. Das senkrecht nach unten geführte Rohr n ist von einem Dampfmantel B umgeben, um dadurch auf einer gleichmäßigen Temperatur von 100° erhalten zu werden. Zur Bestimmung der Gewichtsunterschiede der beiden Luftsäulen in den Rohren A und n sind die beiden Rohre a und m beliebig weit fortgeführt und mit dem Meßapparate D verbunden. Das Rohr a mündet unter einer mit Glycerin abgesperrten Glocke e, deren Bewegung durch Zeiger z ersichtlich gemacht wird, während das Rohr m mit der äußeren Luft in Verbindung steht. — Die Vorrichtung hat begreiflicher Weise wenig Beifall gefunden.

Fig. 229.



P. Schoop in Biebrich (D. R.-P. Nr. 20345) empfiehlt ein Luftthermometer zur Messung von hohen und niedrigen Temperaturen, bestehend aus einem Gefäße, welches ein trockenes Gas (Luft, Stickstoff oder dergleichen) enthält und durch eine Capillare, deren Hohlraum höchstens 0,1 Proc. des Volumens des Gefäßes enthält, mit einer Bourdon'schen, mit Glycerin oder Oel gefüllten Röhre in Verbindung steht und bei welchem die Temperaturanzeige dadurch vermittelt wird, daß der der jeweiligen Temperatur entsprechende Druck im Gefäße durch die Capillare weiter gelangt und mittels des Glycerins eine Gestaltsveränderung der Röhre bewirkt. — Im Wesentlichen der gleiche Vorschlag wurde bereits früher von Wiske (*D. R.-P. Nr. 9681) gemacht.

---

1) Sie bestimmten damit den Siedepunkt des Zinkes zu 940 bis 960°. — 2) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1880, *851; Compt. rend. 90, 606.

Winstanley[1]) verwendet ein Heberbarometer, dessen kurzer, ebenfalls zugeschmolzener Schenkel Luft enthält, welche beim Erwärmen die Quecksilbersäule in andere Schenkel hebt.

Bonncsen (*D. R.-P. Nr. 11963) will zur Bestimmung der Lufttemperatur in entfernten Räumen in diese einen geschlossenen Luftbehälter stellen, welcher durch eine Rohrleitung mit einem im Beobachtungsrohre aufgestellten Druckmesser verbunden ist. Das Verfahren ist, der langen Leitung wegen, offenbar unzuverlässig.

Das für Laboratoriumzwecke bestimmte Luftthermometer mit constantem Volum von Andrews[2]) ist, der Kautschukverbindungen wegen, wohl nicht ganz zuverlässig.

Das Luftthermometer von O. Petterson[3]) hat einen Gasbehälter *A* (Fig. 230) von 122,7936 ccm Inhalt bei 0°. Die zur Messung der Ausdehnung des Luftvolumens *A* bestimmten Meßröhren *B* und *C* sind sorgfältig durch Auswägen mit Quecksilber bei + 15° kalibrirt. Die auch bei der Messung der aus *A* in *B* und *C* eingedrungene Luft angewendete Temperatur von 15° wird dadurch erhalten, daß *B* und *C* in ein weites Glasrohr *R* eingesetzt sind, welches mit Wasser von 15° gefüllt wird. Die Röhre *B* faßt etwa 60 ccm, *C* nur 12 ccm und ist diese so eng, daß die Theilstriche, welche die ganzen Cubikcentimeter angeben, etwa 5 cm von einander entfernt sind. Die Rohre *C* und *B* können ganz oder theilweise mit Quecksilber gefüllt werden, welches von einem beweglichen Behälter *G* durch Kautschukschlauch *k* einströmt und mittels der Hähne *d* und *e* auf jeden beliebigen Theilstrich der Graduirung eingestellt werden kann. Ein mit einigen Tropfen concentrirter Schwefelsäure gefülltes Differentialthermometer *E* steht bei geöffnetem Hahn *a* in Verbindung mit der Röhrenleitung des Luftthermometers, andererseits mit einem auf der Rückseite angebrachten Behälter *D* (vergl. Fig. 231) von derselben Größe wie *A*, welcher bei jedem Versuch mit schmelzendem Eis *I* umgeben wird. Das Differentialthermometer hat nur den Zweck, die Erhaltung des constanten Druckes bei jedem Versuche zu ermöglichen. Das Volumen des Röhrensystemes von *A* bis *z* und bis an den Nullstrich in *B* und *C* wird durch Auswägen mit Quecksilber bestimmt und ist fast gleich dem Volumen der Röhrenleitung von *x* bis *y*. Durch diese Gleichheit der Volumen beider Röhrenleitungen fällt die lästige Fehlerquelle des schädlichen Raumes weg.

Zum Füllen des Apparates mit trockener Luft wird das Quecksilber in *B* und *C* auf den untersten Strich der Theilung gestellt, die Hähne *a*, *c*, *d* und *e* werden geschlossen, *b* wird offen gehalten, während die Luft ausgepumpt und *A* in einem Sandbade erhitzt wird. Während der Apparat noch luftleer ist, öffnet man *d* und *e* und läßt das Quecksilber in die Meßröhren bis oben hinaufsteigen, um die an der inneren Glaswand haftende Luft zu entfernen. Hat man sich überzeugt, daß der Apparat vollkommen dicht ist, so läßt man von Kohlensäure befreite und vollkommen trockene Luft eintreten. Dieses Verfahren wird mehrere Male wiederholt.

Zur Feststellung des Nullpunktes werden beide Behälter *A* und *D* mit reinem Schnee und destillirtem Wasser umgeben. Dabei stehen die Luftvolumen

---

[1]) Phil. Magaz. (5) 10, 380. — [2]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1881, *2117. — [3]) Journ. f. prakt. Chem. (1882) 25, *102.

in A und D noch mit der äußeren Luft in Verbindung, ersteres durch Hahn b und die mit Phosphorsäure gefüllten Trockenröhren, letzterer durch die feine Oeffnung einer ausgezogenen Röhrenspitze über x. Dann umgiebt man die Rohre B und C mit Wasser von 15° und stellt das Quecksilber in beiden auf einen beliebigen Strich ein, je nachdem man hohe und niedere Temperaturen bestimmen will. Petterson wählte als Nullpunkt den Strich 15 am weiteren Rohr B und

Fig. 230.

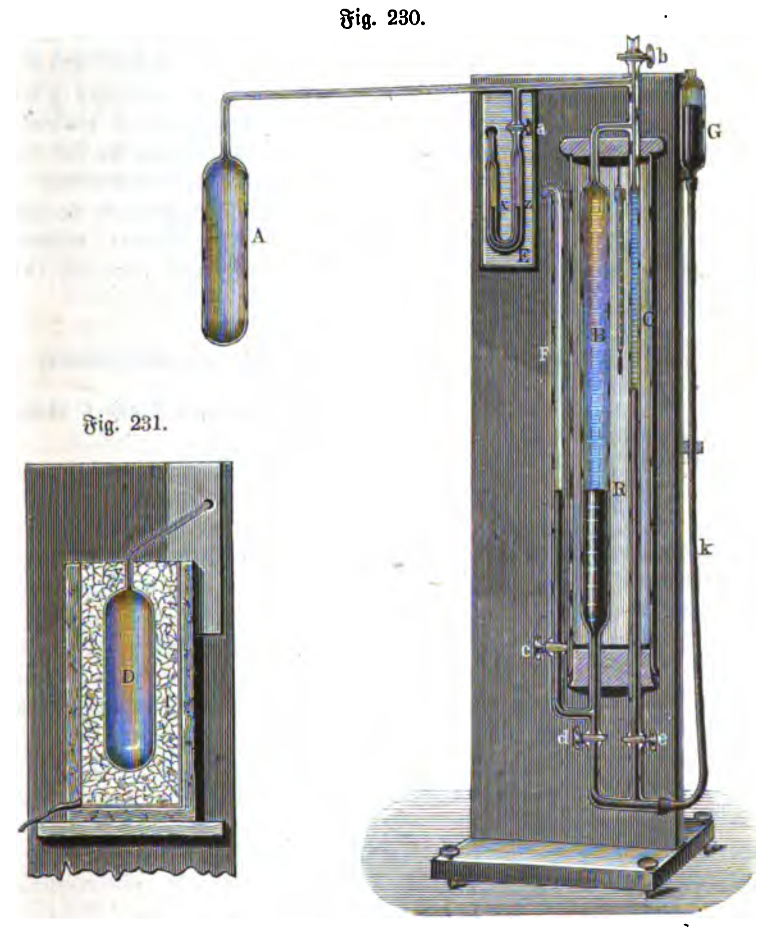


Fig. 231.

1 vom engeren C; nach der vorher entworfenen Kalibrirungstabelle betrug das Luftvolumen (v_2), welches bei 15° in den Meßröhren B und C (vom Nullpunkt der Theilung bis zu den erwähnten Strichen gerechnet) vorhanden war 16,171 ccm. Danach wird der Hahn a geöffnet und die Ruhelage der Schwefelsäure in E mit feinen Strichen bezeichnet. Alsdann wird der Hahn b zugedreht und die Spitze oberhalb x mit einer Stichflamme zugeschmolzen. Der äußere Luftdruck braucht nicht bemerkt zu werden. Hahn b wird fernerhin nur bei Reparaturen

des Instrumentes geöffnet, oder wenn man den Nullpunkt desselben zu verändern wünscht. Auch der Hahn a bleibt gewöhnlich geschlossen und wird nur am Ende jedes Versuches geöffnet.

Nachdem nun der Behälter A der zu bestimmenden Temperatur ausgesetzt und D mit schmelzendem Eis umgeben worden ist, wird der Hahn d geöffnet und das Quecksilber in B sinken gelassen, bis dasselbe etwas niedriger als in der Steigeröhre F steht. Es ist dann ein kleiner Drucküberschuß in A und in B vorhanden, welcher noch ausgeglichen werden muß. Die Quecksilberhöhe in B wird auf den nächsten Theilstrich mit Hülfe einer Loupe scharf eingestellt, Hahn c und d geschlossen, Hahn a geöffnet und aus C Quecksilber so lange ausfließen gelassen bis das Gleichgewicht der Flüssigkeit im Differentialthermometer E vollkommen hergestellt ist. Man kann dann sicher sein, daß die Ausdehnung der Luft unter demselben Druck wie bei der Bestimmung des Nullpunktes stattgefunden hat. Die Zunahme des Volumens in B und C, nach der Kalibrirungstabelle berichtigt, möge mit v_3 bezeichnet werden. Die Temperatur (t_3) des Wassers, welches B und C umspült, wird in der Nähe von 15^0 gehalten, besser noch genau auf 15^0 [1]).

Bezeichnet man mit

V_0 = das Volumen der Luft in dem Gefäße A bei 0^0;
v_2 = das Volumen der Luft in den Meßröhren bei der Nullpunktbestimmung; die Temperatur dabei war immer $+15^0$;
v_3 = der Zuwachs des Volumens der Luft in den Meßröhren B und C durch die Ausdehnung der Luft in A von 0^0 bis x^0;
t_3 = die Temperatur der Luft in B und C bei dem Versuche;
x = die gesuchte Temperatur;
α = der Ausdehnungscoëfficient der Luft;
β = der Ausdehnungscoëfficient des Glases (bei dem Apparate Petterson's 0,00002952, der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers zu 0,0001853 angenommen),

so ergiebt sich die Formel:

$$V_0 + v_2 \frac{1}{1+\alpha\, 15^0} = V_0 \frac{1+\beta x}{1+\alpha x} + [v_2 + v_3] \frac{1+\beta(t_3 - 15^0)}{1+\alpha t_3} \quad . \; . \; . \quad \text{(I)}$$

und wenn man die Temperaturen der Meßröhren B und C auch während des Versuches auf 15^0 hält, so daß $t_3 = +15^0$, so ergiebt sich:

$$V_0 = V_0 \frac{1+\beta x}{1+\alpha x} + v_3 \frac{1}{1+\alpha\, 15^0}.$$

Setzt man:

$$\frac{1}{1+\alpha\, 15^0} = z \text{ und } \log z = 0{,}9767270 - 1,$$

so wird die Formel danach:

$V_0(1+\alpha x) = V_0(1+\beta x) + v_3(1+\alpha x)z$; ferner: $x[V_0(\alpha-\beta) - v_3 \alpha z] = v_3 z$ und:

$$x = \frac{v_3}{V_0(\alpha-\beta):z - v_3\alpha} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(II)}$$

Wenn die constante Größe $V_0(\alpha-\beta):z = k$ gesetzt wird, $\log k = 0{,}6736694 - 1$, so wird schließlich:

---

[1]) Franz Müller (Geißler Nachf.) in Bonn liefert dieses Thermometer ohne Gestell zu 100 Mk., mit Gestell zu 130 Mk.

$$x = 1 : \left(\frac{k}{v_3} - \alpha\right).$$

War während des Versuches die Temperatur des Wassers im Rohre R nicht genau 15°, so muß die Formel (I) angewendet werden. v_3 ist das direct aus der Kalibrirungstabelle entnommene Volumen, um welches sich die Luft in A von 0° bis x^0 unter constantem Druck ausgedehnt hat.

Zur Bestimmung des Siedepunktes des Wassers bezw. des Ausdehnungscoëfficienten der Luft (α) z. B. war der Nullpunkt auf 15 bezw. 1 gestellt, so daß $r_2 = 16{,}171$ ccm. Als nun das Gefäß A mit Wasserdampf erhitzt, D mit Schnee umgeben wurde und das Quecksilber in B genau auf den Strich 45 eingestellt, war nach Herstellung des constanten Druckes mit Hülfe des Differentialthermometers das Quecksilber in C bei dem Strich 5,40 stehen geblieben. Nach der Correctionstabelle entspricht dies 50,715 ccm, so daß $v_3 = 50{,}715 - 16{,}171 = 34{,}544$ ccm. Dem Barometerstande von 763,6 mm (bei 13°) entspricht nach Regnault die Siedetemperatur des Wassers = 100,07; somit wird nach Formel (II):

$$100{,}07^0 = \frac{34{,}544}{122 \times 7963\,(\alpha - 0{,}0000295) : z - 34{,}544\,\alpha} \quad \text{oder } \alpha = 0{,}0036735.$$

Setzt man aber nach Regnault $\alpha = 0{,}0036705$, so erhält man $x = 100{,}15^0$.

Nach Versuchen von L. Troost[1]) ist Silber bei etwa 800° ebenso durchlässig für Sauerstoff wie Platin und Eisen für Wasserstoff; auf 1 qm Oberfläche gingen stündlich 1,7 Liter Sauerstoff durch Silberblech. Kohlensäure, Kohlenoxyd und Stickstoff diffundiren nur sehr wenig. Luftpyrometer mit Silberbehälter sind daher unzulässig.

J. Frew[2]) will die Temperatur des heißen Gebläsewindes dadurch bestimmen, daß er den erhöhten Druck mißt, welcher erforderlich ist, damit die heiße Luft aus einer bestimmten Oeffnung austritt (?).

Aenderung des Aggregatzustandes. Ducomet[3]) beschreibt einige Abarten seines Pyrometers (S. 41).

R. Schwartzkopff in Berlin (*D. R.-P. Nr. 12591 und 15634) verwendet als Controlapparat für Maximaltemperaturen eine Metallscheibe, welche beim Schmelzen einen elektrischen Stromkreis schließt. — Hierbei ist die sichere Erzielung des Contactes nicht leicht (vergl. S. 45).

Die deutsche Gold- und Silberscheideanstalt, vorm. Rößler in Frankfurt a. M., Schneidrallgasse Nr. 10, liefert zu dem Preise von 40 Mk. eine Reihe von 16 Stück Metallen und Legirungen für Wärmemessungen, welche mit Cadmium, Schmelzpunkt 315° beginnt und mit einer Legirung von 500 Thln. Gold und 500 Thln. Platin, Schmelzpunkt 1385° aufhört, wie folgende Skala ergiebt: Cd 315°, Zn 412°, Al 620°, 800 Ag und 200 Cu 850°, 950 Ag und 50 Cu 900°, Ag 954°, 400 Ag und 600 Au 1020°, Au 1075°, 950 Au und 50 Pt 1100°, desgl. 900 : 100 = 1130°, 850 : 150 = 1160°,

---

[1]) Compt. rend. 98, 1427. — [2]) Engineering (1886) 41, *45; vergl. Jahresber. d. chem. Technol. 1886. — [3]) Portef. éconon. des machines 9, *65.

800 : 200 = 1190°, 750 : 250 = 1220°, 700 : 300 = 1255°, 600 : 400 = 1320°, 500 : 500 = 1385° (vergl. S. 44 [1]).

Da bei den an Platin reicheren Legirungen leicht Saigerungserscheinungen auftreten, so empfiehlt H. Seger[2]) aus verschiedenen Glasurgemischen folgende Zusammensetzung (S. 325) geformte kleine Tetraëder. Durch die Schmelzung dieser Tetraëder sind die Temperaturen zwischen der Schmelzhitze von 90 Gold 10 Platin, also etwa von 1145°, bis hinauf zur höchsten Glut des Porzellanfeuers annähernd gegeben. Wenn wir als den so zu messenden Temperaturzwischenraum 600° annehmen, so kommt also im Durchschnitte für jeden Kegel eine Temperatursteigerung von etwa 30° heraus. Es ist zu berücksichtigen, daß die Kegel mit den höheren Zahlen immer langsamere Schmelzungserscheinungen zeigen; dies ist auch erklärlich, wenn man berücksichtigt, daß bei höheren Temperaturen wegen der entstehenden, stetig größer werdenden Wärmeverluste die Temperatur im Ofen immer langsamer steigt, dann aber auch die Glasuren immer zähflüssiger werden und aus diesem Grunde schwieriger niedergehen. Es ist bei Aufstellung der Kegel zu berücksichtigen, daß sich dieselben immer nach einer und derselben Seite umneigen; es ist die offene Seite der Form, auf welcher die Nummer der Kegel aufgedrückt ist, welche fast immer nach oben kommt. Die Kegel sind so einzusetzen, daß man das Niedergehen der Spitze beobachten kann, bis sie die unterliegende Chamotteplatte berührt [3]).

Optische Erscheinungen. Entgegen den Versuchen von Crova (S. 45), hohe Temperaturen spectroskopisch zu bestimmen, welche er neuerdings noch erweitert hat [4]), zeigt L. Nichols [5]), daß nur das Verfahren Aussicht auf Erfolg habe, nach welchem die Strahlung eines auf die zu messende Temperatur erhitzten Gegenstandes mit derjenigen eines auf bekannte Temperatur gebrachten verglichen wird. Dieses Verfahren erfordert aber eine Kenntniß der Gesetze, nach welchen sich Absorptions- und Emissionsvermögen bei wechselnder Temperatur ändern. Nach Versuchen von Nichols hat z. B. das Platin bei 1650° für den sichtbaren Theil des Spectrums ein wesentlich größeres Absorptionsvermögen als bei niederer. — J. Violle [6]) hat die Stärke des vom glühenden Platin ausgestrahlten Lichtes [7]) bei folgenden Temperaturen bestimmt (vergl. S. 46):

---

[1]) Neuere Bestimmungen von Violle (S. 64 u. Compt. rend. 89, 702) ergeben folgende Schmelzpunkte, bezogen auf das Luftthermometer:

Iridium	1950°	Kupfer	1054°
Platin	1775	Gold	1035
Palladium	1500	Silber	954

[2]) Thonindustrieztg. 1885, 104 u. 121; 1886, 135; Jahresber. f. chem. Technol. 1886, 545. — [3]) Die königliche Porzellanmanufaktur in Berlin giebt 100 Kegel für 4,50 Mk. ab. — [4]) Compt. rend. 90, 252; 92, 707. — [5]) Americ. Journ. of Science (1881) 19, 42; Jahresber. f. chem. Technol. 1882, 480. — [6]) Compt. rend. 92, 866 u. 1204. — [7]) Becquerel (Annal. chim. phys. 68, 114) bestimmte folgende Temperaturen für glühende Körper:

500 bis 550° = sehr dunkles Roth,	960° = gelb,
550 „ 960° = orangeroth,	1100° = gelblich-weiß.

Nr.	Chemische Formel $0,3 K_2O$, $0,7 CaO$ und	Zusammengesetzt aus 83,55 Thln. Feldspath, 35 Thln. Marmor und		
1.	$0,2 Fe_2O_3$, $0,3 Al_2O_3$, $4 SiO_2$	Quarz . . . . Eisenoxyd	66,00 16,00	
2.	$0,1 Fe_2O_3$, $0,4 Al_2O_3$, $4 SiO_2$	Quarz . . . . Eisenoxyd . . . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	60,00 8,00 12,95	
3.	$0,05 Fe_2O_3$, $0,45 Al_2O_3$, $4 SiO_2$	Quarz . . . . Eisenoxyd . . . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	57,00 4,00 19,43	
4.	$0,5 Al_2O_3$, $4 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	54,00 25,90	Unterschied der Zusammensetzung $= 0,1 Al_2O_3 SiO_2$ (Nr. 4–10)
5.	$0,5 Al_2O_3$, $5 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	84,00 25,90	
6.	$0,6 Al_2O_3$, $6 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	108,00 38,85	
7.	$0,7 Al_2O_3$, $7 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	132,00 51,80	
8.	$0,8 Al_2O_3$, $8 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	156,00 64,75	
9.	$0,9 Al_2O_3$, $9 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	180,00 77,70	
10.	$1,0 Al_2O_3$, $10 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	204,00 90,65	
11.	$1,2 Al_2O_3$, $12 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	252,00 116,55	$= 0,2 Al_2O_3$, $2 SiO_2$ (Nr. 11–14)
12.	$1,4 Al_2O_3$, $14 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	300,00 142,45	
13.	$1,6 Al_2O_3$, $16 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	348,00 168,35	
14.	$1,8 Al_2O_3$, $18 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	396,00 194,25	
15.	$2,1 Al_2O_3$, $21 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	468,00 233,10	$= 0,3 Al_2O_3$, $3 SiO_2$ (Nr. 15–17)
16.	$2,4 Al_2O_3$, $24 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	540,00 271,95	
17.	$2,7 Al_2O_3$, $27 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	612,00 310,80	
18.	$3,1 Al_2O_3$, $31 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	708,00 362,60	$= 0,4 Al_2O_3$, $4 SiO_2$ (Nr. 18–20)
19.	$3,5 Al_2O_3$, $35 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	804,00 414,40	
20.	$3,9 Al_2O_3$, $39 SiO_2$	Quarz . . . . Zettlitzer Kaolin . . .	900,00 466,20	

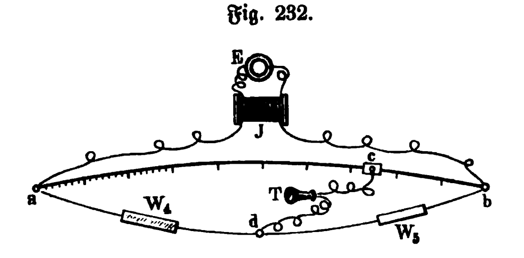
Temperatur	$\lambda = 656$ C	$\lambda = 589{,}2$ D	$\lambda = 535$ ($E = 527$)	$\lambda = 482$ ($F = 486$)
775°	0,00300	0,00060	0,00030	—
954	0,01544	0,01105	0,00715 (?)	—
1045	0,0505	0,0402	0,0265	0,0162
1500	2,371	2,417	2,198	1,894
1775	7,829	8,932	9,759	12,16

E. Lecher[1]) zeigt, daß schon eine 917 mm dicke Schicht von Kohlensäure 90 Proc. strahlende leuchtende Wärme absorbirt, W. C. Röntgen[2]), daß Wasserdampf namentlich ultrarothe Strahlen zurückhält. Nach Keeler[3]) werden von Kohlensäure die dunkeln Wärmestrahlen zurückgehalten.

Darnach ist an ein praktisch brauchbares Verfahren, die Wärme eines Ofens und dergleichen auf optischem Wege zu bestimmen, nicht wohl zu denken (vergl. S. 46), ist es doch noch nicht einmal möglich, einigermaaßen ähnliche Zahlen über die Temperatur der Sonne zu erhalten. Während Ericson[4]) noch mindestens 1 303 640° F. findet, giebt J. Stefan[5]) 5500° C. und C. W. Siemens[6]) nur 2800° an (vergl. S. 54).

Elektrische Erscheinungen. Beim Siemen'schen Pyrometer (S. 47) will J. Spohr[7]) an Stelle des Voltameters ein Telephon einschalten. Der von dem kleinen Elemente E (Fig. 232) ausgehende Strom setzt den Inductionsapparat J in Bewegung und von diesem geht der Strom nach a und b, wo er sich verzweigt in ac, cb, ad und db mit den Intensitäten i_1 bis i_5 und bei den Widerständen W_1 bis W_5. Nach dem bezüglichen Gesetze ist aber die Summe der Stärken der in einem Punkte zusammenlaufenden elektrischen Ströme gleich Null, daher:

Fig. 232.



$$i_2 + i_3 - i_1 = 0 \text{ und } i_5 - i_3 - i_4 = 0.$$

Wird $i_3 = 0$, so folgt: $i_2 = i_1$ und $i_5 = i_4$,

also

$$\frac{i_2}{i_5} = \frac{i_1}{i_4} \text{ und } \frac{i_4}{i_5} = \frac{i_1}{i_2}.$$

[1]) Annal. d. Phys. (1881) 12, 180 u. 466. — [2]) Das. (1884) 23, 1, 259. — [3]) Amer. Journ. of Science 1884, 190. — [4]) Nature (1883) 29, 217. — [5]) Wiener Acad. Sitz.-Ber. (1879) II, 79, 38. — [6]) Journ. f. Gasbel. 1884, 49. — [7]) Dingl. Journ. (1885) 257, *315.

Da aber die Stromstärken sich umgekehrt wie die Widerstände in den entsprechenden Stromzweigen verhalten, so folgt:

$$\frac{W_5}{W_4} = \frac{W_2}{W_1}, \text{ woraus } W_5 = \left(W_4 \frac{W_2}{W_1}\right).$$

Wir können also einen unbekannten Widerstand W_5 bestimmen, wenn $i_3 = 0$ wird, was daran zu erkennen ist, daß ein eingeschaltetes Telephon T schweigt, während es in jedem anderen Falle (wenn $i_3 > 0$ ist) das Gesumm des Inductionsapparates stärker oder schwächer hörbar wiedergegeben würde. W_4 wird als bekannter Widerstand eingeschaltet. Das Verhältniß $(W_2 : W_1)$ ist mittels des gleitbaren Contactstiftes an c variabel und auf einer angefügten Skala unmittelbar ablesbar. Bei der praktischen Verwendung des beschriebenen Principes wird der Gleitcontact an c so lange hin und her an dem Rheochorddrahte acb verschoben, bis das Telephon schweigt, also $i_3 = 0$ geworden ist. Man ersieht dann an der Rheochordskala das Verhältniß $ac(W_2 : W_1)$, welches natürlich gleich dem Längenverhältnisse $(bc : ac)$ ist, multiplicirt mit der Größe des bekannten Widerstandes W_4, und findet damit W_5. Aus W_5 ergiebt sich nach der auf Grund der Siemens'schen Untersuchungen festgestellten Tabelle die diesem Widerstande entsprechende Temperatur des Raumes, in welchem der Platindraht eingebracht war.

Nach Siemens und Halske[1]) wird die Höhe der Temperatur bis etwa 600° nach dem Ausschlag einer Nadel beurtheilt, welche von dem durch die Erhitzung einer Thermosäule entstehenden Strom abgelenkt wird (vergl. S. 53).

Langley[2]) schickt denselben Strom durch zwei gleiche Leitungen und führt gleich lange Stücke derselben in gleicher Weise um eine Galvanometernadel, jedoch so, daß die Richtung der Ströme einander gerade entgegengesetzt ist. So lange nun die Stromintensität in beiden Leitungen gleich ist, muß die Nadel in Ruhe bleiben. Läßt man aber auf das nicht um die Nadel herumgeführte Stück der einen Stromleitung die Wärmequelle einwirken, während man das entsprechende Stück der zweiten Leitung bei der bisherigen Temperatur erhält, so wird der Widerstand der ersten Stromleitung zunehmen, wodurch ein Ausschlag der Galvanometernadel bewirkt wird. Man soll so noch Temperaturunterschiede von $^1/_{50000}{}^0$ erkennen können.

Vertheilung der Wärme. Bei dem Hobson'schen Apparate zur Bestimmung der Temperatur des heißen Gebläsewindes (S. 55) wird weder auf die Temperatur des kalten, noch auf den Druck des heißen Windes Rücksicht genommen, so daß keine zuverlässigen Messungen damit ausführbar sind. Fr. Krupp in Essen (*D. R.-P. Nr. 24624) will diese Fehler durch die in Fig. 233 (a. f. S.) dargestellten Abänderungen vermeiden. Der heiße Gebläsewind tritt bei A in den Apparat und wird mittels des Hahnes H und des Quecksilbermanometers E (oder eines Manometers beliebiger anderer Art) so regulirt, daß der Druck des eintretenden heißen Windes stets constant erhalten wird. Die Temperatur der bei B angesaugten kalten Luft wird durch das Thermometer D

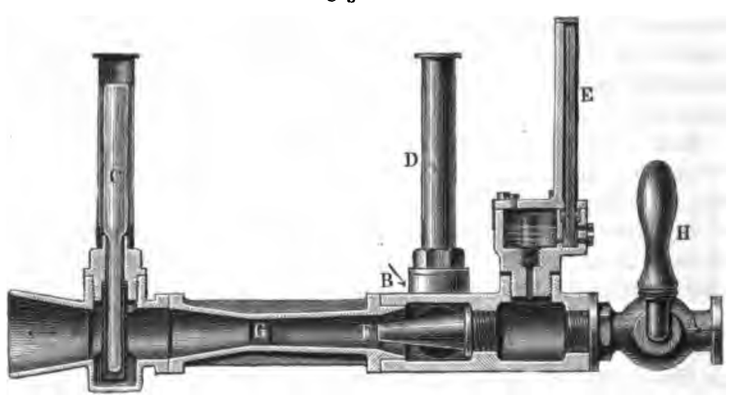
---

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1881, 247. — [2]) Chem. News 43, 6.

angegeben, während die Temperatur der entstehenden Mischung der heißen und kalten Luft an dem Thermometer *C* abzulesen ist. Die Differenz der an *C* abgelesenen Temperatur des Luftgemisches gegen diejenige der angesaugten kalten Luft, welche bei *D* abgelesen wird, ergiebt nun durch Multiplication mit einem constanten Coëfficienten, welcher von dem Größenverhältnisse und der Stellung der beiden Düsen *F* und *G* abhängig ist und zweckmäßig an jedem Apparate durch Versuche ermittelt wird, um wie viel die Temperatur des heißen Windes höher ist als diejenige der angesaugten kalten Luft. Unter Anwendung einer verschiebbaren Skale am Thermometer *C*, welche auf Grund des ermittelten Coëfficienten hergestellt ist und deren Nullpunkt auf denjenigen Temperaturgrad eingestellt wird, welchen das Thermometer *D* anzeigt, kann diese Temperaturdifferenz direct abgelesen werden.

Nach K. Möller (*D. R.-P. Nr. 7511) soll die heiße Ofenluft in einem Rohre aufsteigen, welches von dem herunterfließenden Wasser umgeben ist. —

Fig. 233.



Die Angabe, daß die Temperatur aus dem Wärmeunterschiede des ein- und austretenden Wassers und der Menge der aus dem Rohr entweichenden Gase zu berechnen ist, ähnlich wie Linde (S. 141) für Dampfkessel vorgeschlagen, ist nicht richtig. — Nach einem anderen Vorschlage desselben (*D. R.-P. Nr. 17 535) wird der mittlere Theil *B* seines Pyrometers (S. 56) mit einer die Wärme schlecht leitenden Hülle umgeben.

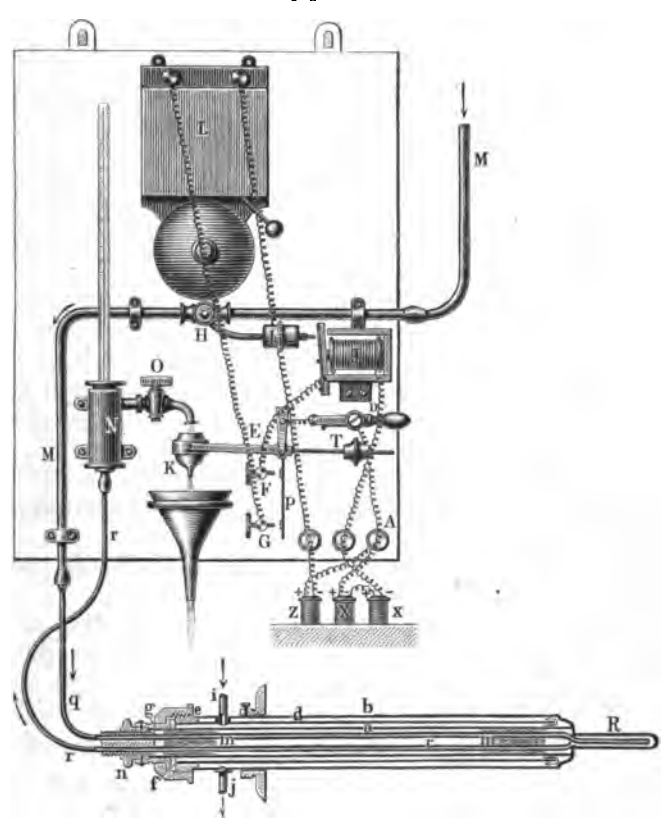
E. H. Amagat[1]) empfiehlt eine fast gleiche Anordnung als „Pyrometer Amagat“.

A. und E. Boulier[2]) verwenden das gleiche Verfahren (D. R.-P. Nr. 25 280 und 26 919). Darnach geht das Wasser, welches die Wärme des Ofens aufnimmt, dessen Temperatur gemessen werden soll, durch den Hahn *H* (Fig. 234) der Röhre *Mq* zu dem im Ofen befindlichen Theile *R*, von hier

[1]) Compt. rend. (1883) 97, 1053. — [2]) Annal. industr. (1883) 2, 314; Bull. Soc. d'Encourag. 1884, *39; Scientif. Americ. 1884, *6956.

durch Rohr r nach dem Behälter N, in welchem das Thermometer steht. Durch Hahn O fließt das Wasser nun in ein Becken K, welches dasselbe in den Trichter abfließen läßt. Der am Wagebalken E hängende Behälter K wird durch ein verstellbares Gewicht T im Gleichgewichte gehalten. Ein biegsamer Blechstreifen p wird in senkrechter Richtung unter dem Drehpunkte des Balkens so angebracht, daß p zunächst mit dem Anschlagstifte G und sodann mit F Contact herstellt,

Fig. 234.



wenn in Folge einer etwaigen Verringerung des Becherinhaltes der Wagebalken E in die Höhe schwingt.

Sobald in Folge eines dem Umlaufe der Flüssigkeit in der Leitung entgegenstehenden Hindernisses oder durch Entweichen von Flüssigkeit eine Verkleinerung des in das Becken K eintretenden Volumens erfolgt, mithin das Becken sich zu heben beginnt, wird der Blechstreifen p den Anschlagstift G berühren und es geht in Folge dessen ein Strom von der Batterie Z aus zu der Klemme A und dem Commutator D, dann zu dem Elektromagnete des elektrischen Läutewerkes L und setzt letzteres in Thätigkeit. Wird das zufließende Flüssigkeitsvolumen in dem

Becken noch geringer, so kommt der Blechstreifen p in Folge des Uebergewichtes von T auch mit dem Anschlagstifte F in Contact und der Strom der beiden verbundenen Batterien X fließt durch die Klemme A nach dem Commutator D, von hier durch den Anschlagstift F zurück über den Elektromagnet J, welcher dadurch veranlaßt wird, seinen Anker anzuziehen. Sobald dies geschieht, bewirkt das Gewicht I, welches mit dem Hahne H in Verbindung steht, das Schließen des letzteren; mithin wird die Eintrittsröhre M für die Flüssigkeit gänzlich abgesperrt, so daß eine Explosion innerhalb des Ofens oder dergleichen oder sonstige schädliche Störungen nicht eintreten können.

Um zu verhüten, daß in der Nähe der Heizkapsel R die heißen Theile Wärme an die Zuleitungsröhre q und die Ableitungsröhre r abgeben, sind diese Röhren mit einer die Wärme nicht leitenden Substanz m umgeben und in den beiden, von den drei concentrischen Metallröhren a, b und d gebildeten Räumen wird eine doppelte Bewegung einer Flüssigkeit hervorgerufen, deren Temperatur zwischen derjenigen des zufließenden und des ablaufenden Wassers liegt, welches zur Uebertragung der in dem Ofen oder dergleichen von der Heizkapsel R absorbirten Hitze dient. Dieses zwischen den Röhrenwandungen fließende Wasser tritt durch die Röhre i ein, nimmt dann die von den Außenwandungen ausstrahlende Wärme auf und läuft durch die Röhre j ab. Hierbei bildet die der Hitze ausgesetzte Heizkapseloberfläche allein diejenige Fläche, welche die für die Temperaturangabe maßgebende Hitze aufnimmt und weiterleitet. Eine Verschraubung ng, welche einen Theil des Kopfverschlusses mit den Theilen ef ausmacht, gestattet in jedem Falle die Regulirung der Größe der Heizkapseloberfläche.

Die Genauigkeit des Instrumentes wird durch diese Vorrichtungen nicht erheblich vergrößert; jedenfalls erfordern die elektrischen Signalvorrichtungen eine sehr sorgfältige Behandlung. —

Das sogenannte Hydropyrometer von Andrée[1]) ist nicht nennenswerth verschieden von den S. 60 und 61 beschriebenen.

Nach Versuchen von Pionchon[2]) zeigt Eisen, abweichend von früheren Angaben (S. 59), in der Nähe von 700° eine auffallende Zunahme der specifischen Wärme. Zwischen 0° und 660° läßt sich die zur Erwärmung von 1 g weichem Eisen erforderliche Wärme $q_0{}^t$ durch folgende Gleichung ausdrücken: $q_0 t = 0{,}11012t + 0{,}00002533333t^2 + 0{,}00000005466664t^3$:

t	q_0 beobachtet	q_0 berechnet
98,3°	11,11 c	11,12 c
336,4	42,01	41,99
471,9	63,49	63,35
535,6	74,69	74,65
636,0	94,40	94,45
655,3	98,57	98,42

Zwischen 660° und 723° dient die Formel:

$$q^t_0 = 0{,}57803t - 0{,}001435987t^2 + 0{,}000001195000t^3:$$

---

[1]) Jernkont. Annal. 1884; Jahresber. d. chem. Technol. 1885, *368. — [2]) Compt. rend. (1886) 102, 1454.

666,7°	101,3 c	101,2 c
684,3	106,14	106,04
698,7	110,4	110,4
710,7	114,4	114,4

Für die Temperaturen bis 1000° ergiebt sich dann die einfache Formel $q_0^t = 0{,}218\,t - 39$:

730,3°	119,95 c	120,2 c
785,5	132,16	132,24
832,0	142,51	142,37
954,5	169,20	169,08
1006,0	180,34	180,31

Somit höhere Werthe. Wer die Mehrausgabe von etwa 20 Mk. nicht scheut, thut gut, einen Platincylinder (S. 64) anzuwenden, welcher doch wesentlich bequemer ist, als der Eisencylinder. Es ist keineswegs nöthig, wie es Hoadley[1]) will, hierfür Platinkugeln im Werthe von 140 Dollar zu verwenden.

Schlußfolgerungen. Metallthermometer (S. 10 u. 312) gestatten zwar eine sehr bequeme Zeigerablesung, lassen sich auch leicht mit elektrischen Lärmvorrichtungen verbinden, sie erfordern aber für Temperaturen bis etwa 500° sehr häufige Controle, für höhere Wärmegrade sind sie durchaus unzuverlässig.

Quecksilberthermometer (S. 17 u. 313) aus Jenaer Normalglas von Abbe und Schott (S. 315) sind zuverlässig und leicht zu handhaben, verdienen daher in erster Linie angewendet zu werden. Bei Wärmegraden über 200° ist zu empfehlen, solche mit Stickstofffüllung zu nehmen (S. 17), welche bei entsprechender Ausführung für Temperaturen bis 450° in weitaus den meisten Fällen allen anderen Wärmemeßvorrichtungen vorzuziehen sind[2]).

Luftthermometer (S. 32 u. 321) sind genau, aber so schwierig zu handhaben, daß sie nur in Laboratorien vortheilhaft verwendet werden können. — Die Druckthermometer (S. 317) kann Verfasser nicht empfehlen.

Metalle und Metalllegierungen (S. 41 u. 323), sowie die Seger'schen Tetraeder verdienen bei der Betriebsaufsicht für hohe Temperaturen größere Beachtung, als sie bisher gefunden haben.

Optische und akustische Thermometer (S. 45 u. 326) erscheinen aussichtslos. Das elektrische Thermometer erfordert eine sorgsame Behandlung und ist theuer (S. 47 u. 326).

Die sogenannten Luft- (S. 55 u. 328) und Wasserpyrometer (S. 56 u. 329) sind nicht zuverlässig. Bewährt hat sich dagegen das vom Verfasser angegebene Calorimeter (S. 61), namentlich unter Verwendung eines 20 g schweren Platincylinders.

---

[1]) Chem. News 46, 171.

[2]) Dieselben werden vom Universitätsmechaniker W. Apel in Göttingen u. A. geliefert.

Nachträge zur Lichtmessung.

Lichteinheit. Eine allgemein anerkannte Lichteinheit ist leider noch immer nicht gefunden. Bis jetzt wird die Kerze (S. 69) noch am meisten angewendet.

Nach Rüdorff[1]) ist die Flamme der Walrathkerze gleichmäßiger als die der Vereinsparaffinkerze, so daß zu Lichtmessungen erstere besser erscheine. Dagegen finden Thomas u. A.[2]), daß die Paraffinkerze besser ist, als die Walrathkerze[3]).

Versuche von H. Krüß[4]) mit Münchener Stearinkerzen, deutschen Vereinsparaffinkerzen und englischen Walrathkerzen ergaben, daß bei der Stearinkerze, deren vorschriftsmäßige Flammenhöhe 52 mm sein soll, am meisten Flammenhöhen zwischen 54 und 56 mm vorkommen; eine Flammenhöhe von 52 mm kommt weniger als halb so oft vor, dann diejenigen von 54, 55 und 56 mm. Bei den Paraffinkerzen sind am häufigsten Flammenhöhen von 52, 53 und 54 mm aufgetreten, anstatt der vorgeschriebenen von 50 mm, und bei den Walrathkerzen kommen Flammenhöhen von 47 und 48 mm bei weitem häufiger vor als die Normalhöhe von 44,5 mm. — In Bezug auf die Gleichartigkeit der Flammenhöhe waren die Walrathkerzen den anderen beiden untersuchten Arten überlegen, sowohl in Bezug auf die Schwankungen bei jeder einzelnen Kerze, als in Bezug auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Kerzen aus demselben Materiale; ohne Putzen des Dochtes ist eine normale Flammenhöhe überhaupt nur sehr schwer zu erreichen und kann man diesen Eingriff in den natürlichen Verbrennungsproceß nicht vermeiden, wenn man eine Kerze als Normallichtquelle benutzen will. Ein Schwanken der Helligkeit einer Kerze von 40 Proc., wie mehrfach angegeben ist, kann höchstens bei ungeputzten Kerzen vorkommen. Wird die Helligkeit der Stearinkerzen = 100 gesetzt, so ist:

	Flammenhöhe 44,5 mm nach:			Normale Flammenhöhe nach:	
	Rüdorff	Buhe	Krüß	Schilling	Krüß
Stearinkerzen	100	100	100	100	100
Paraffinkerzen	107,9	106,4	106,0	88,7	97,6
Walrathkerzen	108,7	108,7	104,5	90,7	85,8

Die Helligkeit der Walrathkerzen wurde also verhältnißmäßig kleiner gefunden wie von anderen Beobachtern. Die von Krüß benutzte Einheit, der Giroud'sche

[1]) Dingl. Journ. 243, 233; vergl. Journ. f. Gasbel. 1869, 567. — [2]) Daselbst 1882, 695; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1882, 1113. — [3]) Vergl. auch W. Sugg in Scientif. americ. Suppl. 1885, *7726. — [4]) Journ. f. Gasbel. 1883, 213, 511, 717; Fischer's Jahresber. f. chem. Technol. 1884, 1260.

Einlochgasbrenner von 1 mm Lochöffnung und 67,5 mm Höhe, soll nach Giroud die Helligkeit von 0,1 Carcellampe haben, so daß, da die Walrathkerzen bei 44,5 mm Flammenhöhe eine mittlere Helligkeit von 0,89 = 0,089 Carcelbrenner hatten, 11,2 Walrathkerzen = 1 Carcelbrenner wären, während Schilling 9,6, Weber und Rowden 9,66, Sugg und Kirkham 9,6, Le Blanc 9,3 Walrathkerzen für den Werth eines Carcelbrenners fanden. Da die von Krüß beobachteten mittleren Flammenhöhen und der Materialverbrauch etwas geringer sind als sonst, so scheinen die Walrathkerzen nicht immer dieselbe Beschaffenheit zu haben. Bei allen Normalkerzen ist zwar ein bestimmter stündlicher Verbrauch an Material beim Brennen vorgeschrieben (S. 70); doch ist dies keineswegs so aufzufassen, daß beim Photometriren dieser Verbrauch eingehalten werden müsse. Von einem solchen regelmäßigen Verbrauche kann doch gewiß nur die Rede sein bei freiem ungestörtem Brennen der Kerze; bei ihrer Benutzung zum Photometriren muß sie aber geputzt werden und in diesem Falle wird der Verbrauch vollständig beeinflußt werden durch die Art des Putzens. Es ist somit bei Lichtmessungen die Größe des Verbrauches vollkommen gleichgültig, wenn nur die vorgeschriebene Flammenhöhe eingehalten wird.

Nach gefälliger brieflicher Mittheilung von Schilling sind die S. 71 gegebenen Zahlen aus dem Journal für Gasbeleuchtung unrichtig und ist das Verhältniß der gebräuchlichsten Lichteinheiten [1]):

Vereinskerze	Münchener Kerze	Englische Walrathkerze	Carcellampe
1000	887	977	102
1128	1000	1102	115
1023	907	1000	104
9826	8715	9600	1000

Monier [2]) fand 1 Carcel = 7,5 Vereinsparaffinkerzen = 7,5 Bougies d'Etoile, = 6,5 Münchener Stearin-, = 8,3 Walrathkerzen. Vergleicht man damit noch die Versuche von Violle (S. 339), so wird man bei Angaben verschiedener Beobachter die Helligkeit der Paraffin- und Walrathkerze in zweifelhaften Fällen gleichstellen dürfen (vgl. S. 334).

Auch nach den neuesten Berichten der deutschen Kerzencommission [3]) geben Kerzen aus Paraffin, Stearin oder Walrath bei gleichem Dochte und gleicher Flammenhöhe fast genau dieselbe Leuchtkraft. Die Commission ist noch jetzt der Ansicht, daß die Paraffin-Vereinskerze als Lichteinheit beizubehalten ist, da mit derselben gleichmäßigere Ergebnisse erzielt werden als mit anderen im Handel vorkommenden Kerzen.

---

[1]) Schilling: Handb. d. Gasbel. 1878, 214. — [2]) Journ. f. Gasbel. 1883, 758; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1262. — [3]) Journ. f. Gasbel. 1880, 366, 402 u. 603; 1884, 565; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1885, 1225.

Die für den Verein unter Aufsicht einer besonderen Commission angefertigten Paraffinkerzen werden von dem Geschäftsführer zum Selbstkostenpreise ausgegeben. Es haben 6 Stück Kerzen ein Gewicht von 500 g. Jede Kerze hat genau cylindrische Form und einen Durchmesser von 20 mm. Sie wird zum Gebrauche am Besten in zwei gleichlange Theile geschnitten. Sie ist aus möglichst reinem Paraffin (unter Zusatz von 2 bis 3 Proc. Stearin) mit einem Erstarrungspunkte von 55° angefertigt[1]). Die Dochte der Kerze sind in thunlichster Gleichförmigkeit von 24 baumwollenen Fäden geflochten und hat 1 laufendes Meter der Dochte im trockenen Zustande ein Gewicht von 0,668 g. Ein rother Faden im Dochte zeichnet die Vereinskerze von anderen Kerzen ab. — Die Kerzenflamme soll während der Lichtversuche eine Höhe von 50 mm haben, gemessen vom Ursprung der Flamme am Dochte bis zu deren Spitze. Um diese Höhe zu erreichen, läßt man die angezündete Kerze ruhig brennen, bis ein gleichmäßig mit flüssigem Paraffin angenetzter Teller sich gebildet hat. Durch vorsichtiges Putzen (Schneuzen) des Kerzendochtes bringt man, wenn nöthig, die Flamme auf die 50 mm Höhe und erhält sie in gleicher Weise auf derselben. Der Verbrauch der Kerze an Paraffin beträgt in diesem Zustande stündlich etwa 7,7 g. Die geeignetste Temperatur des Raumes, in welchem Lichtversuche angestellt werden, wird zu 17,5° genommen.

Giroud[2]) empfiehlt die Flamme eines Einlochbrenners (S. 96), welche 0,1 Carcel entspricht als Normalflamme, da eine solche mit den gebräuchlichen Kerzen, sowohl der deutschen Paraffin- als der englischen Walrathkerzen, bezüglich der Leuchtkraft nach seinen Angaben nahezu gleichwerthig ist. Giroud hat gefunden, daß die Leuchtkraft von $^1/_{10}$ Carcellampe (= 0,983 Vereinskerze und 0,96 Walrathkerze) durchschnittlich einer Flamme von 67,5 mm Höhe aus einem Lochbrenner von 1 mm Weite entspricht. — Diese Flamme ist thatsächlich, namentlich bei Messungen von Gasflammen, sehr bequem, wenn man dieselbe zu Anfang und Ende des Versuchs mit einer Normalkerze oder auch Amylacetatlampe (S. 336) einstellt.

Die von Methven (S. 73) als Normalflamme vorgeschlagene, theilweise abgeblendete Flamme eines Argandbrenners ist nicht zu empfehlen[3]).

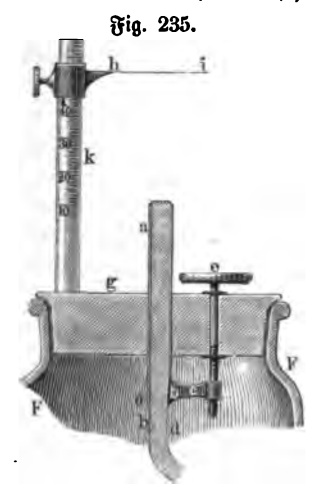
Eitner[4]) empfiehlt eine kleine Benzinflamme, welcher er vor dem Amylacetat insofern den Vorzug giebt, als die Flamme des Benzins in der Färbung

---

[1]) Die Bestimmung des Schmelzpunktes geschieht nach dem Verfahren des Vereins für Mineralindustrie in Halle: Ein kleines, mit Wasser gefülltes Becherglas von ungefähr 7 cm Höhe und 4 cm Durchmesser wird bis ungefähr 70° erwärmt und auf das erwärmte Wasser ein kleines Stückchen des zu untersuchenden Paraffins geworfen, so groß, daß es nach dem Zusammenschmelzen ein rundes Auge von etwa 6 mm Durchmesser bildet. Sobald dieses flüssig, wird in das Wasser ein Thermometer so tief eingetaucht, daß das längliche Quecksilbergefäß des Thermometers ganz vom Wasser bedeckt wird. In dem Augenblicke, wo sich auf dem Paraffinauge ein Häutchen bildet, wird der Schmelz- bezw. Erstarrungspunkt an der Skale des Thermometers abgelesen. Während dieser Bestimmung muß das Becherglas durch eine Umgebung von Glastafeln sorgfältig vor Zugluft geschützt werden; auch darf der Hauch des Mundes beim Beobachten der Skale das Paraffinauge nicht treffen. — [2]) Journ. f. Gasbel. 1880, 700; 1883, *213. — [3]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1880, 915. — [4]) Journ. f. Gasbel. 1881, 722.

der des Leuchtgases näher kommt. In dem Dochtröhrchen *a* (Fig. 235) von beiläufig 7,5 mm lichter Weite, welches von dem Runddocht *d* eben ausgefüllt wird, ist ein von sehr dünnem Blech hergestelltes zweites Röhrchen *b* leicht verschiebbar; in diesem klemmt der Docht, weil es um eine Kleinigkeit enger ist als *a*, etwas mehr, als in *a* und da sein oberes Ende nur etwa 10 mm unter dem oberen Ende von *a* steht, wird der Docht jeder Bewegung von *b* willig folgen. Diese Bewegung wird vermittelt durch den Arm *c*, welcher an *b* angelöthet ist und an seinem Ende die Schraube *e* aufnimmt. Das Benzin befindet sich in einem Glasgefäß *F*, welches einen gut eingeschliffenen Marmorstöpsel *g* trägt, sowie das an einem prismatischen Stabe *k* verstellbare Visir *hi*; letzteres ist ein aus sehr feinem Draht gebogener Ring, der beim Visiren also, wie in der Skizze, als gerade Linie sich darstellt.

Fig. 235.



Viel weniger bequem ist die Pentanflamme (S. 73) von Harcourt[1]).

Bei Siemens und Halske wird schon lange und mit recht gutem Erfolge eine Erdölflamme mit Rundbrenner als Vergleichslicht benutzt. Eine gute Erdöllampe brennt, wenn einige Zeit nach dem Anzünden verstrichen ist, recht gleichmäßig. Kleine Schwankungen in der Lichtstärke zeigen sich durch Verkürzung oder Verlängerung der Flamme an. Hält man diese durch geringes Verstellen des Dochtes während der Dauer einer Messungsreihe auf gleicher Höhe, welche man nach einer eingeätzten Marke oder kleinen Skala an dem Cylinder einstellt, so erhält man ein constanteres Vergleichslicht als mit anderen weniger einfachen Einrichtungen. Zu bemerken ist noch, daß die Flamme einer Erdöllampe gleichmäßiger brennt, wenn die Lampe nicht auf ihre größte Leuchtkraft beansprucht wird. Bezügliche Versuche ergaben, daß auch bei Verwendung verschiedener im Handel vorkommender Erdölsorten ein gleichmäßiges Licht erhalten wurde. Auch eine kleine Benzinlampe ergab übereinstimmende Resultate, wenn nur die Höhe der Flamme eingehalten wurde. Dagegen ist die Carcellampe und ihre Verwendung als internationale Lichteinheit so ungeeignet, als es bei dem heutigen Standpunkte der Beleuchtungsindustrie nur möglich ist. Eine nebst dem dazu gehörenden Oele aus Paris bezogene Lampe ergab nur 7,6 Kerzen und nach einer Stunde Brennzeit war die Leuchtkraft noch um 2 Normalkerzen gefallen[2]).

F. v. Hefner-Alteneck[3]) stellt nun auf Grund zahlreicher Versuche folgende Lichteinheit auf. Dieselbe ist die Leuchtkraft einer in reiner und ruhig stehender atmosphärischer Luft frei brennenden Flamme, welche aus dem Querschnitte eines

---

[1]) Vergl. Iron (1883) 21, *133. — [2]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1266. — [3]) Journ. f. Gasbel. 1884, 73 u. *770; 1886, 5; Elektrotechn. Zeitschr. 1884, 20; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, *1267.

massiven, mit Amylacetat gesättigten Dochtes aufsteigt, der ein kreisrundes Dochtröhrchen aus Neusilber von 8 mm innerem, 8,3 mm äußerem Durchmesser und 25 mm frei stehender Länge vollkommen ausfüllt, bei einer Flammenhöhe von 40 mm, vom Rande des Dochtröhrchens aus und wenigstens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen.

Eine dieser Vorschrift entsprechende Lampe zeigen Figuren 236 und 237. Die Flammenhöhe ist bezeichnet durch die Visirlinie über den beiden kleinen Schneiden a und b, in welche Linie die Flammenspitze durch Drehen an der Dochtschraube S genauestens eingestellt wird. Der Docht ist gebildet aus einem Strange von sogenanntem Lunten- oder Dochtgarn, einem groben, sehr weichen Baumwollvorgespinnste, welches unter dieser Bezeichnung im Handel überall zu haben ist. Die einzelnen Fäden, etwa 15 bis 20 an der Zahl, werden ohne

Fig. 236.

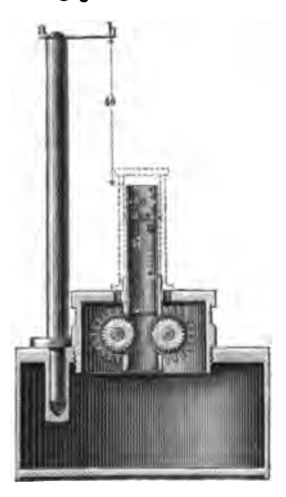


Fig. 237.



weitere Verflechtung oder Umstrickung zu einem Strange parallel zusammengelegt, bis zu einem Gesammtdurchmesser, welcher sich noch leicht bis zu dem Durchmesser des Dochtröhrchens (8 mm) zusammendrücken läßt. In die Lampe eingeführt, hat der Docht nur die Bedingungen zu erfüllen, daß er das Dochtröhrchen ganz und sicher ausfüllt und daß er den Brennstoff im Ueberschusse über die verbrennende Menge empor zu saugen im Stande ist. Aus diesem Grunde darf er nicht zu stark in das Dochtröhrchen eingepreßt sein. Die letztgenannten beiden Bedingungen sind für die innere Eigenschaft des Dochtes allein maaßgebend. Sie lassen einen ziemlich weiten Spielraum, innerhalb dessen die Beschaffenheit des Dochtes ganz gleichgültig ist, zu. — Die Menge des in der Lampe enthaltenen Brennstoffes ist gleichgültig, so lange nur der Docht mit allen seinen Fäden noch gut in dieselbe eintaucht. Das Dochtröhrchen ist aus Neusilberblech hergestellt und bloß in die Lampe gut passend eingesteckt, so daß man es sowohl herumdrehen, als auch auswechseln kann für den Fall einer Beschädigung. Beim Ein-

setzen desselben ist nur zu beachten, daß es fest unten auf dem betreffenden Ansatze aufsteht, weil sonst das Flammenmaaß unrichtig zeigen würde. Das Gewicht des im Ganzen 35 mm langen Dochtröhrchens beträgt 0,76 g.

Die Leuchtkraft der Flamme ist nur normal, wenn sie frei brennt, also ohne Benutzung eines Glascylinders. Da dieselbe durch jede Zugluft aber leicht beeinflußt wird, so ist für Fälle, wo diese nicht zu vermeiden ist, die Anwendung eines Glascylinders vorgesehen. Derselbe ist aus weißestem Glase hergestellt und hat die (im Jahresb. 1884, 1257) eingeschriebenen Abmessungen. Das Aufsetzen des Glascylinders verringert zunächst die Flammenhöhe ein wenig. Bringt man dieselbe wieder auf die normale Höhe, so erhält man eine ungefähr um 2 Proc. geringere Leuchtkraft als von der freien Normalflamme, welche Zahl auch annähernd dem Absorptionscoëfficienten des Cylinders entspricht. Man hat diese Zahl dann in Rechnung zu bringen. Uebrigens wird man gut thun, den Einfluß eines jeden Glascylinders einmal durch Versuche festzustellen, was leicht durch Vergleich der Leuchtkraft der Normalflamme mit und ohne Cylinder gegen eine beliebige, während der Dauer des Versuches vollkommen ruhig brennende Flamme geschehen kann. Für genaueste Einstellung der Flammenhöhe soll die Lampe nicht nur absolut zugfrei, sondern auch vor jeder Erschütterung geschützt aufgestellt sein. Selbst die in einem Gebäude vorkommenden Erschütterungen zeigen sich an der Flamme durch ein geringes Auf- und Abtanzen ihrer Spitze. Immerhin ist die richtige Flammenhöhe aber viel leichter und sicherer zu erzielen als bei der Kerzenflamme, so daß man viele Messungen durch unmittelbaren Vergleich ausführen kann.

Der Einfluß verdorbener Zimmerluft auf die Leuchtkraft des Lämpchens ist sehr beträchtlich. Derselbe ist allerdings niemals zu merken, wenn man das Lämpchen gegen die Normalkerze oder eine andere Flamme vergleicht; denn diese unterliegen dem Einflusse von Kohlensäuregehalt in der Luft in gleichem Grade. Derselbe wurde im Siemens u. Halske'schen Laboratorium durch Vergleich mit Glühlampen festgestellt, so daß sich eine fleißige Lüftung des Meßzimmers empfiehlt. Durch wiederholte Vergleiche mit Glühlampen hat sich zwar ergeben, daß die größten Barometerschwankungen an einem Orte keinen bemerkbaren Einfluß ausüben, und daß wohl auch die Höhenunterschiede, in denen voraussichtlich Lichtmessungen im Allgemeinen stattfinden, in dieser Beziehung ohne Belang sein werden. Da aber Versuche von Frankland vorliegen, welche das schwächere Brennen von Kerzen auf hohen Bergen ergeben haben, so müßte dieser Punkt durch Vergleich der Normallampe an Orten von verschiedener Höhenlage mit den gleichen durch genau gleiche Stromstärke betriebenen Glühlampen erst noch festgestellt werden. Sollte sich ein merklicher Unterschied ergeben, so müßte eben die Flamme etwa bei 760 mm Barometerstand für die Normale erklärt, und die Abweichungen für ganz genaue Messungen rechnerisch in Betracht gezogen werden. Jedenfalls unterliegen auch hier alle durch Verbrennung erzeugten Lichter dem gleichen Einflusse und nur die elektrischen Glühlichter jedenfalls nicht.

Die Leuchtkraft des Lämpchens stimmt mit der Walrathkerze überein, bei 43 mm Flammenhöhe der englischen Kerze, wobei die Flamme von dem Punkte, wo der Docht sich zu schwärzen beginnt, bis zur Spitze gemessen war, während

nach Bunte[1]) die Amylacetatflamme mit der englischen Walrathkerze von 45 mm Flammenhöhe übereinstimmt, sowie mit 0,94 Vereinskerzen oder eine Vereinskerze = 1,07 Amyllampen. Die Lampe kostet bei Siemens u. Halske in Berlin 20 Mk., 1 kg Amylacetat einschließlich Verpackung bei C. A. F. Kahlbaum in Berlin 6 Mk.

Die Platinlichteinheit von Draper und Schwendler (S. 74) wurde von J. Trowbridge[2]) dahin abgeändert, daß in der Mitte des Kohlenbogens einer Glühlampe ein sehr dünner Platindraht angebracht wird. W. H. Preece[3]) beleuchtet den Schirm eines Bunsen'schen Photometers auf der einen Seite durch eine Swanlampe, auf der anderen durch ein weißes Papier, welches von der zu untersuchenden Lichtquelle bestrahlt wird und ändert den Strom der Swanlampe so lange, bis der Fettfleck verschwindet. Aus der Stromstärke erhält er dann ein Vergleichsmaaß für die Lichtstärke, nachdem ihm besondere Versuche gezeigt, daß die Helligkeit der Glühlichtlampe proportional der sechsten Potenz der Stromstärke wächst. — Hefner-Alteneck[4]) zeigt dagegen, daß diese Platineinheit ebensowenig wie eine Glühlampe als Lichteinheit brauchbar ist.

Als Einheit des weißen Lichtes hat die internationale elektrische Conferenz, welche wiederholt in Paris tagte[5]), diejenige Lichtmenge angenommen, welche von 1 qcm geschmolzenem reinem Platin bei der Erstarrungstemperatur ausgestrahlt wird. Als Einheit farbigen Lichtes gilt die Menge gleichfarbigen Lichtes, welche in diesem weißen Lichte enthalten ist[6]).

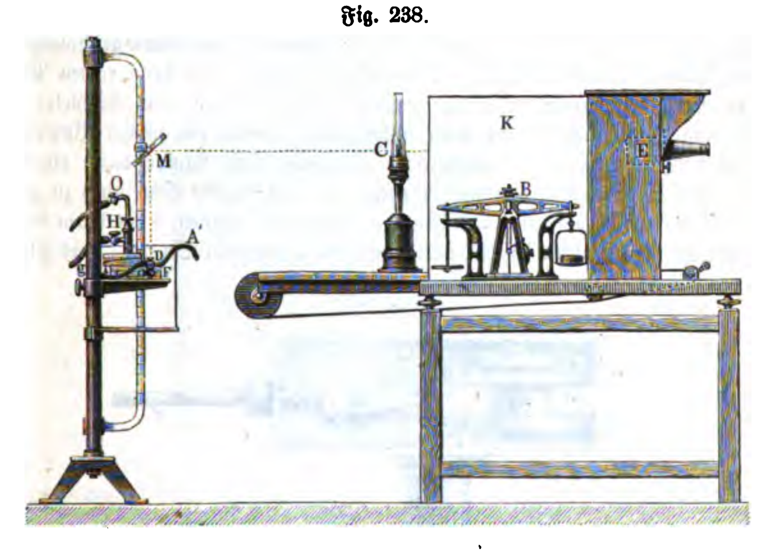
Zur Herstellung dieser von T. Violle[7]) vorgeschlagenen Einheit verwendet derselbe einen Deville'schen Platinschmelzofen aus Kalk, durch dessen Deckel die mit Hülfe von Leuchtgas hergestellte Knallgasflamme auf das Platin trifft. Ist alles Platin geschmolzen, so besitzt die flüssige Masse eine weit höhere Temperatur als dem Schmelzpunkt (1775°) entspricht; man bringt alsdann das flüssige Metall hinter oder unter einen doppelwandigen Schirm mit einer Oeffnung von bestimmtem Querschnitt, durch welche das Licht hindurchfallen kann. Damit die Oeffnung sich nicht während des Versuches in Folge der starken Wärmestrahlung ändert, ist der Schirm (aus Platin oder Kupfer) doppelwandig und wird durch einen Strom kalten Wassers gekühlt. Die durch die Oeffnung gehenden Lichtstrahlen werden auf den Photometerschirm geworfen.

Bei der von Deleuil in Paris angegebenen Anordnung, Fig. 238, kann die Carcellampe C auf einem Schlitten vor dem Schirme E des Foucault'schen Photometers (vergl. S. 80) bewegt werden. Die von beiden Lichtquellen kommenden Strahlen sind durch den Schirm K getrennt. Der durch Leitung AA_1 mit

[1]) Journ. f. Gasbel. 1885, 796. — [2]) Proc. Americ. Ac. 1885, 494. — [3]) Proc. Roy. Soc. London, 1884, 270. — [4]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1266 u. 1270. — [5]) Dingl. Journ. (1884) 252, 529; Journ. f. Gasbel. 1881, 763; Elektrotechn. Zeitschr. 1884, 244. — [6]) Vergl. Ed. L. Nichols: Ueber das von glühendem Platin ausgestrahlte Licht (Inaug.-Diss. Göttingen, E. A. Huth) 1879, 58: Beiblätter z. d. Annal. d. Phys. 3, 865. — [7]) Compt. rend. 98, 1032; Annal. de chim. et de phys. (VI) 3, 373; Versuche zur Bestimmung der absoluten Intensität des Lichtes (Paris, Gauthier-Villars) 1884; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, *1273; Centralbl. f. Elektrotechn. 1884, 808.

Wasser gekühlte Deckel *D* des Deville'schen Schmelzofens *F* ist zurückgeschoben, um die Oberfläche des geschmolzenen Metalles frei zu machen. Das Löthrohr ist mit dem Sauerstoffgasometer und dem Behälter für Leuchtgas durch die Leitungen *O* und *H* verbunden. Der ganze Schmelzapparat ruht auf einem Tischchen, welches senkrecht bewegt und mittels der Schraube *g* festgestellt werden kann. Der Spiegel *M* reflectirt die von dem Deckel durchgelassenen Strahlen nach dem Schirm des Photometers. Gestattet die Art der zu vergleichenden Lichtquelle, z. B. ein Glühlämpchen, jede beliebige Aufstellung, so bringt man am zweckmäßigsten die Photometerscheibe direct vertikal über der Platinwanne an; ist dies, wie gewöhnlich, nicht angänglich, so müssen die vom Metallbade ausgehenden Lichtstrahlen durch einen Spiegel oder durch ein Prisma horizontal abgelenkt werden, wie es die Fig. 238 zeigt. Der Absorptionscoëfficent des Spiegels oder

Fig. 238.



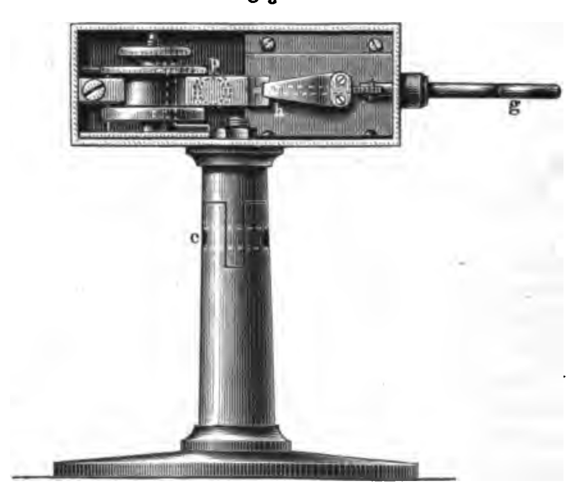
des Prismas muß in diesem Falle selbstverständlich mit in Rechnung gezogen werden. Ist die erste Einstellung erfolgt und fallen die Lichtstrahlen beider zu vergleichender Lichtquellen auf den Schirm des Photometers, so stellt man je nach der Art des Photometers durch Verschieben des Schirmes oder der einen Lichtquelle gleiche Beleuchtung her. Diese Gleichheit erhält sich jedoch nicht lange, denn das geschmolzene Metall kühlt sich ab und die Lichtstrahlung nimmt sehr rasch ab. Die Intensitätscurve fällt zunächst steil ab, verflacht sich allmählich, wenn sich die Temperatur des Metalles dem Erstarrungspunkt nähert und verläuft so lange horizontal, bis die geschmolzene Masse erstarrt ist; nachdem dies eingetreten, nimmt die Temperatur und die Lichtstrahlung abermals rasch ab, bis die vollständige Erkaltung eingetreten. Die Messung muß während der Periode der constanten Temperatur und Lichtstrahlung vorgenommen werden. Violle giebt folgende Zusammenstellung (vergl. S. 333) über die Beziehungen der gebräuchlichen Lichtmaaße:

	Platin-einheit	Carcel	Französ. Stearin-kerze	Deutsche Vereins-kerze	Englische Kerze
Platineinheit	1	2,08	16,1	16,4	18,5
Carcel	0,481	1	7,75	7,89	8,91
Französische Stearinkerze . .	0,062	0,130	1	1,02	1,15
Deutsche Vereinskerze . . .	0,061	0,127	0,984	1	1,13
Englische Kerze	0,054	0,112	0,870	0,886	1

Werner Siemens[1]) hat hierfür folgende einfache Vorrichtung angegeben, welche zwar eigentlich nicht der von der Conferenz gegebenen Bestimmung entspricht, da das Licht bei derselben nicht von im Erstarren begriffenen geschmolzenem Platin, sondern von im Schmelzen begriffenem ausgeht. Ob beim reinen Platin ein in Betracht kommender Temperaturunterschied zwischen dem Schmelz- und Erstarrungspunkte besteht, ist noch unbekannt. Sollte ein solcher Unterschied wirklich festgestellt werden, so müßten die Angaben dieser Lampe durch einen zu ermittelnden Coëfficienten berichtigt werden, um die gesetzliche Lichteinheit zu geben.

Die Lampe beruht auf dem Schmelzen eines sehr dünnen, 5 bis 6 mm breiten Platinbleches durch einen dasselbe durchlaufenden elektrischen Strom. Das Platin-

Fig. 239.

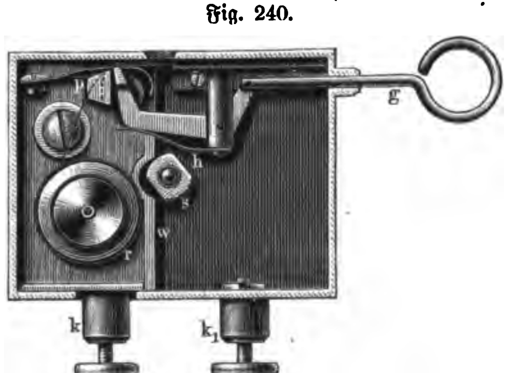


blech p (Fig. 239 und 240) ist in einen kleinen Metallkasten, welcher bei s auf dem bei c drehbaren Sockel befestigt ist, eingeschlossen, in dessen einer schmalen

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1884, *244; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, *1271.

Wand sich eine nach innen kegelförmig verjüngte Oeffnung befindet, deren kleinster Querschnitt möglichst genau 0,1 qcm Inhalt hat. Dicht hinter diesem Loche befindet sich das Platinblech, welches dessen Ränder nach allen Seiten überragt. Wird nun dieses Platinblech durch Verbindung einiger galvanischen Zellen mit den Klemmschrauben k_1 und k_2 zum Glühen gebracht, so ist die durch das Loch ausstrahlende Lichtmenge genau so groß, als wenn der Sitz der Lichtausstrahlung sich in der Fläche der Oeffnung selbst befände. Wenn man nun die Batterie mit einer Einrichtung versehen hat, welche gestattet, die Stromstärke sehr langsam zu vergrößern, so hat man Zeit, das Photometer fortwährend in der Gleichgewichtslage zu erhalten, bis das Platin schmilzt und plötzlich Dunkelheit eintritt. Das vom Loche kurz vor diesem Augenblicke ausgestrahlte Licht ist dann genau 0,1 der von der Conferenz angenommenen Einheit für weißes Licht. Ein kleiner, im Gehäuse der Lampe angebrachter Zangenmechanismus *h* ermöglicht es, durch eine einfache Hin- und Zurückschiebung eines Griffes *g* ein neues Stück des auf eine Rolle *r* aufgewickelten und durch Glimmerscheibe *w* vom Kästchen isolirten Platin-

Fig. 240.



bleches anstatt des geschmolzenen einzuschalten, vor das Loch zu bringen und so den Versuch ohne Zeitverlust beliebig oft zu wiederholen.

Hefner-Alteneck[1]) bezweifelt mit Recht, daß dieses Platinlicht als internationale Lichteinheit angenommen wird. Die Gleichmäßigkeit der vom geschmolzenen Platin ausgestrahlten Lichtmenge ist noch nicht erwiesen. Wie z. B. das Wasser weit unter seinen Gefrierpunkt abgekühlt werden kann, ohne zu erstarren, so könnte dieses auch für flüssiges Platin der Fall sein. Welchen Einfluß die Verunreinigungen des Platins auf den Erstarrungspunkt haben, ist noch festzustellen. Aber selbst dann, wenn diese Fehlerquellen beseitigt würden, so könnte das Platinlicht doch nicht an Stelle der anderen Einheiten in die praktische Lichtmessung eintreten, weil es bei wirklichen Messungen nicht thatsächlich benutzt werden kann. Hierbei kann man nicht seinen Maaßstab bei sich führen; man muß vielmehr denselben, d. h. hier die Lichteinheit, bei jeder Messung erst wieder neu erzeugen. Allein die möglichst genaue Kenntniß, wie das bei der ursprüng-

[1]) Journ. f. Gasbel. 1886, 3; vgl. Zeitschr. f. d. Chem. Ind. 1887, Heft 8.

lichen Messung geschehen ist und wie man es wieder machen muß, um die gleiche Lichtstärke zu erzeugen oder mit anderen zu vergleichen, ist nothwendig. Ob die zur Messung wirklich benutzt gewesene Lichtquelle in einer mehr oder weniger bestimmten Beziehung zu einer anderen nicht zu gleicher Zeit und am gleichen Orte hergestellten Lichtquelle steht, kann uns ganz gleichgültig sein. Es folgt daraus, daß nur eine Lichteinheit, welche sich auf eine bestimmte Vorschrift hin im unmittelbaren Anschlusse an jede Lichtmessung herstellen läßt, als internationale Lichteinheit empfohlen werden darf.

Bei dem Violle'schen Verfahren ist dies aber bekanntlich nicht der Fall, weil es viel zu kostbar und umständlich ist. Es wurde nun der Vorschlag gemacht, es sollten die Beziehungen der älteren Lichteinheiten, des Carcelbrenners, der Normalkerze, oder der Amylacetatlampe (S. 336) zur Violle'schen Einheit möglichst genau festgestellt und dann den Fachleuten empfohlen werden, die mit der einen oder anderen Einheit gemessenen Werthe in Violle'schen auszudrücken. Dies wird aber ebenso wenig gelingen, als es bisher trotz emsigster Bemühungen gelungen ist, die Verhältnisse der alten Lichteinheiten zu einander aufzustellen. Das Verhältniß der Violle'schen Einheit zu einer anderen bleibt immer um die Fehlergrenzen beider Einheiten unsicher. Erfährt man also eine Lichtstärke in Violle'schen Einheiten, so muß man sich erst noch erkundigen, nicht nur mit einer wie definirten Einheit wurde gemessen, sondern auch noch, welches Verhältniß derselben zur Violle'schen Einheit hat der Messende in Rechnung gebracht? Beide Werthe erhalten unvermeidliche, sich addirende Unsicherheiten und man fragt billig, wozu dieser Umweg? Da sucht man doch lieber von vornherein unter den möglichst leicht herstellbaren Einheiten die beste heraus und einigt sich über ihre Anwendung, und wenn sie noch Fehler hat, so müssen dieselben eben als unabänderlich mit in den Kauf genommen werden, denn sie kommen in der einen oder anderen Form doch wieder zum Vorschein [1]).

In erster Linie ist hierfür offenbar die Amylacetatlampe ins Auge zu fassen. Jedenfalls ist daran festzuhalten, daß nur das Auge im Stande ist, Helligkeiten zu messen, daß daher das Scalenphotometer von Zöllner (S. 100 [2]), die ebenfalls das Crookes'sche Radiometer verwendende Vorrichtung von R. Coulon [3]), das Selenphotometer von Siemens (S. 98), die wesentlich die strahlende Wärme der Lichtquellen messenden Photometer von Sloane [4]) und Hurter [5]), das Actinometer von Becquerel, bei welchem Chlorsilber durch Licht zersetzt wird [6]), wenigstens für praktische Lichtmessungen bezw. Beleuchtungszwecke unannehmbar sind.

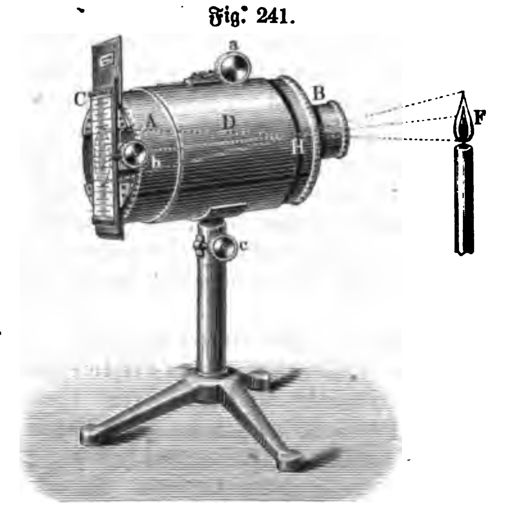
---

[1]) Eine große englische Commission empfiehlt schließlich, vor Aufstellung einer internationalen Lichteinheit weitere Versuche abzuwarten (Engineering [1885] 40, 578). — [2]) Vergl. Journ. f. Gasbel. 1880, 564. — [3]) Engineering (1883) 35, *171. — [4]) Scientif. Americ. 1885, *399. — [5]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1882, *1014. — [6]) Eine ausführliche Uebersicht über die bis jetzt bekannten Actinometer giebt die Photographische Correspondenz 1883, 196, 238.

Vorrichtungen für Lichtmessungen.

Zur Messung der Flammenhöhe empfiehlt Krüß[1]) sein sogenanntes optisches Flammenmaaß. An dem Vorderende des Rohres A (Fig. 241) befindet sich das achromatische Objectiv B, an dem hinteren Ende desselben eine matte Glasscheibe C mit einer Millimetereintheilung. Die Entfernung des Hauptpunktes H des Objectives von der matten Glasscheibe ist gleich der doppelten Brennweite des Objectives. Das ganze Rohr A ist mittels des Triebknopfes a in der Hülse D, die matte Glasplatte mit der Theilung mittels des Triebknopfes b in lothrechter Richtung verschiebbar. Endlich kann der ganze Apparat durch den

Fig. 241.



Triebknopf c in der Höhe verstellt werden. Der Apparat wird in solcher Entfernung von der Kerze aufgestellt, daß die Strecke von der Kerze bis zum Objective ungefähr gleich dem Abstande des letzteren von der matten Scheibe ist. Sodann wird durch den Triebknopf c ungefähr die richtige Höhe gegeben und hierauf mittels des Triebknopfes a das Bild der Flamme F auf der matten Glasscheibe scharf eingestellt. Ist diese scharfe Einstellung erreicht, so ist die Entfernung der Flamme F von dem Hauptpunkte H des Objectives genau gleich der Entfernung dieses Hauptpunktes von der matten Glasscheibe C und in Folge dessen ist das Bild der Flamme genau ebenso groß wie die Flamme selbst. Ein Millimeter der Theilung auf der matten Glasplatte entspricht also genau einem Millimeter der Flamme selbst.

Die Theilung ist 100 mm lang; wenn sie ihre höchste Stellung hat, befindet sich der 50-Strich genau in der Achse des Objectives; man regulirt also

---

[1]) Journ. f. Gasbel. 1883, *717.

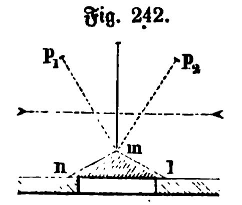
mittels des Triebknopfes c die Höhe des ganzen Apparates so, daß das Flammenbild symmetrisch zu diesem 50-Strich ist, dann befinden sich die Flamme und ihr Bild symmetrisch zur optischen Achse des Objectives. Nun kann man mittels des Triebknopfes b die Theilung so weit verschieben, daß der Nullstrich gerade das Bild der bläulichen Wurzel der Flamme berührt; dann liest man an dem Bilde ihrer Spitze direct ihre Höhe ab. Brennt die Kerze herunter, so daß der Nullstrich nicht mehr mit dem Anfange der Flamme zusammentrifft, so darf man nicht mittels des Triebknopfes b die Theilung verschieben, sondern muß mittels des Triebknopfes c die ganze Höhe des Apparates ändern und so der herunterbrennenden Kerze folgen, damit das Bild der Flamme symmetrisch zur optischen Achse des Apparates bleibe.

Das Bunsen'sche Photometer (S. 75) wird für Lichtmessungen noch immer am meisten verwendet[1]). H. Krüß[2]) bestätigt durch Rechnung, daß der Fettfleck etwas dunkel auf hellem Grunde erscheint, wenn der Papierschirm genau in der Mitte zwischen zwei gleichen Flammen steht. — Für praktische Zwecke genügt es jedenfalls, das Verschwinden des Fettfleckes auf jeder Seite festzustellen und von beiden Beobachtungen das arithmetische Mittel zu nehmen.

Zur Herstellung des Schirmes für das Bunsen'sche Photometer legt A. Töpler[3]) zwischen zwei möglichst dünne und gleichmäßige Blätter von Pergamentpapier ein Stück weißes Papier mit einer kreisrunden Oeffnung in der Mitte und bringt sie zwischen zwei Glastafeln oder spannt sie auf einen Rahmen. Die Einstellung soll mit dieser Vorrichtung viel schärfer geschehen können als mit dem üblichen Fettfleck.

Nach Hefner-Alteneck[4]) erleichtert der Fettfleck im Papierschirm des Bunsen'schen Photometers die bei elektrischen Lichtmessungen, des Farbenunterschiedes wegen, recht schwierige Beobachtung. Damit man beide Papierflächen gleichzeitig sehen kann, wurden bei der jetzt allgemein gebräuchlichen Form bekanntlich zwei Spiegel angebracht, durch welche man die beiden beleuchteten Papierflächen scheinbar in einem spitzen Winkel zu einander stehend erblickt. Dieselben erscheinen aber getrennt durch einen breiten Schatten oder vielmehr der Spiegelbilder derjenigen Schatten, welche die Spiegel selbst auf den Papierschirm beiderseitig werfen. Um dieses zu vermeiden, stellt man statt der beiden Spiegel hinter

Fig. 242.

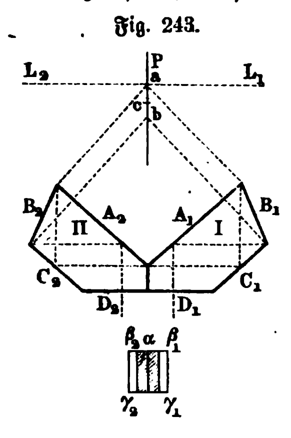


[1]) Ackroyd (Chem. News 41, 179) will lediglich das Auge als Lichtmesser verwenden: Blickt man auf einen hellen Punkt, so scheint sein Bild von leuchtenden, nach allen Richtungen divergirenden Strahlen umgeben zu sein, bedingt zum Theil durch den unregelmäßigen Bau der Linse. Ihre Länge wird bestimmt durch die Oeffnung der Pupille; diese selbst ändert sich aber mit der Helligkeit des einfallenden Lichtes. Man kann daher aus der Gleichheit der Länge der betreffenden Strahlen einen Schluß auf eine Gleichheit der Intensität des einfallenden Lichtes machen und eventuell durch Regulirung der Entfernung zweier Lichtquellen ein Urtheil über ihre relativen Helligkeiten gewinnen. — [2]) Carl's Repert. d. Phys. 1882, *54; vergl. Annal. d. Phys., Jubelb., 234. — [3]) Annal. de Phys. (1879) 8, 640. — [4]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1266; 1885, 1228; Journ. f. Gasbel. 1885, 28.

dem Papierschirme ein ziemlich flaches, gleichseitiges Prisma nml (Fig. 242) vor den Schirm, durch welches man die beiden Flächen mit dem Fettflecke unter den Winkel $p_1 m p_2$ und dicht aneinander strahlend erblickt.

Krüß[1]) verwendet in entsprechender Weise zwei Reflexionsprismen (Fig. 243). In der Verlängerung der Mittelebene, in welcher die beiden Prismen zusammenstoßen, steht der Papierschirm P. Die Winkel der Flächen der Prismen gegen einander sind so gewählt, daß die Strahlen, welche von allen Punkten des Papierschirmes zwischen a und b senkrecht auf die Fläche A_1 des Prismas I fallen, an B_1, C_1 und A_1 reflectirt werden und dann senkrecht zur Fläche D_1 wieder aus dem Prisma austreten. Ebenso ist der Verlauf der Strahlen in dem zweiten Prisma II. Vor den Flächen D_1 und D_2, welche in einer scharfen Kante zusammenstoßen, kann ein Rohr angebracht werden von je nach der Sehweite des Beobachters zu verändernder Länge, an dessen Ende sich eine Blendung mit kleiner Oeffnung befindet, durch welche die Stellung des zu beobachtenden Auges in der Ebene des Papierschirmes fixirt wird. Das Auge sieht dann das Gesichtsfeld durch die Trennungslinie a der beiden Flächen D_1 und D_2 in zwei gleiche Hälften getheilt; die rechte Seite ist das Bild der rechten Seite des Papierschirmes, welche von der einen Lichtquelle L_1, die linke Hälfte dasjenige der linken Seite des Schirmes, welche von der zweiten Lichtquelle L_2 beleuchtet wird. Dabei fällt das Bild von a in die Mittellinie a, die Bilder von b in die seitlichen Grenzen des Gesichtsfeldes β_1 und β_2. Legt man nun die optische Achse des Photometers durch den Punkt a senkrecht zur Ebene des Papierschirmes und fettet das Stück des Papierschirmes von a bis c, so sind γ_1 und γ_2 die Bilder der Grenzen des Fettfleckes. Zu beiden Seiten der Mittellinie a findet demgemäß bei der richtigen Einstellung des Photometers vollkommen gleiche Beleuchtung statt und diese Einstellung ist dadurch, daß die mit einander zu vergleichenden Flächen unmittelbar an einander stoßen, eine sehr bequeme. — Mit dieser Vorrichtung soll eine sichere und genaue Einstellung möglich sein. Durch Einsetzen eines ungefetteten Papierschirmes oder nur durch Verschieben des Papierschirmes, so daß der Fettfleck außerhalb des wirksamen Raumes ab liegt, kann man den Apparat leicht in ein Foucault'sches Photometer verwandeln, welches jedoch viel weniger genaue Angaben liefert als das Bunsen'sche Fettfleckphotometer. —

Fig. 243.



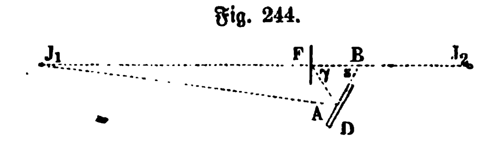
Die Vorrichtung von Hefner-Alteneck ist einfacher und für praktische Lichtmessungen eben so gut.

Das sogenannte Compensationsphotometer von A. Krüß in Hamburg (*D. R.-P. Nr. 34 627) soll den Farbenunterschied zwischen zwei verschiedenfarbigen Lichtquellen, deren Helligkeit mit einander verglichen werden soll, zum

[1]) Abhandl. d. Hamburger naturw. Ver. 1884, 8.

Theile ausgleichen. Dies wird dadurch erreicht, daß die eine der beiden Flächen des Photometers, deren Beleuchtung mit einander verglichen wird, wie gewöhnlich unmittelbar durch die Strahlen der zu messenden Lichtquelle beleuchtet wird, die andere durch einen bekannten bezw. berechenbaren Bruchtheil derselben Strahlen, zu welchen dann so viel Licht von der Vergleichslichtquelle hinzugemischt wird, daß die Beleuchtung der beiden Flächen gleich ist. Die Einrichtung des Instrumentes ist in Fig. 244 schematisch dargestellt. Die Verbindungslinie $J_1 J_2$ der beiden Lichtquellen J_1 und J_2 steht senkrecht auf der Mitte des Photometerschirmes F. Ferner ist ein Spiegel D unter dem Winkel ε gegen die Verbindungslinie $J_1 J_2$ geneigt. Der Photometerschirm F empfängt dann einerseits unmittelbar, normal auffallend, das Licht von der Lichtquelle J_1, andererseits auf dem Wege $J_1 A F$ von dem Spiegel D reflektirtes Licht derselben Lichtquelle J_1, sowie endlich unmittelbar, normal auffallend, die Strahlen der Lichtquelle J_2. — Es sei die Entfernung $J_1 F$ der Lichtquelle J_1 von dem Photometerschirme $F = x$, diejenige der Lichtquelle J_2, also $J_2 F = z$, die Strecke $FB = a$, der Winkel des reflectirten Strahles AF gegen die Gerade $J_1 J_2 = \gamma$; dann ist:

Fig. 244.



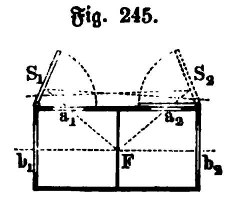
$$\cos\gamma = [2(x + a)\sin^2\varepsilon - x] : (x + a)\sin 2\varepsilon.$$

Bezeichnet man ferner die Länge des Weges des reflectirten Strahles $J_1 AF$ mit $(x + b)$, so ist: $(x + b) = (x + a)\sin 2\varepsilon : \sin\gamma$ und endlich das Verhältniß der Helligkeit der beiden Lichtquellen J_1 und J_2 im Falle der gleichen Beleuchtung des Photometerschirmes F von beiden Seiten:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{x_2}{z_2}\,\frac{(a + b)^2}{(a + b)^2 - x^2\, a\cos\gamma},$$

wo $(1 - a)$ den Lichtverlust durch Reflexion aus dem Spiegel BD bedeutet. — Der Spiegel D kann vorn oder hinten seitwärts am Photometergehäuse angebracht werden oder, wie Fig. 245 zeigt, oberhalb desselben. Der Photometerschirm mit dem Fettflecke befindet sich in F, oben auf dem Gehäuse sind zwei Spiegel S_1 und S_2 angebracht, so daß man entweder von der einen, oder von der anderen Seite Licht auf den Photometerschirm reflectiren lassen kann. Die reflectirten Strahlen gelangen durch die Oeffnungen a_1 bezw. a_2 auf den Photometerschirm. Jeder Spiegel (S_1 bezw. S_2) kann niedergeklappt werden und verdeckt dann die entsprechende Oeffnung a_1 oder a_2. — Dieses Photometer kann also auch als gewöhnliches Bunsen'sches Photometer benutzt werden. Zum gleichzeitigen Betrachten der beiden Seiten des Photometerschirmes dienen entweder hinter demselben angebrachte Reflexionsspiegel, oder vor demselben befindliche Reflexionsprismen.

Fig. 245.



Zur Messung des Lichtes einer hochhängenden Lampe verwendet M. Hartley[1]) ein Bunsen'sches Photometer, mit einem um die Horizontale drehbaren Fettfleck, der so eingestellt wird, daß seine Normale den Winkel zwischen den von den beiden Lichtquellen kommenden Strahlen halbirt, so daß er von beiden unter gleichen Bedingungen beleuchtet wird.

Das Photometer von D. Coglievina in Wien (*D. R.-P. Nr. 12005) unterscheidet sich von den bisher verwendeten Photometern hauptsächlich darin, daß dasselbe keine Normalflamme erfordert, sondern sich diese Einheit selbst schafft. Dies wird dadurch erreicht, daß zwei Lichtstrahlen einer und derselben Quelle in unter einander verschiedenen, aber ganz bestimmten Entfernungen aufgefangen werden und daß hierauf die Intensität des kürzeren Lichtstrahles durch jene des auf eine bestimmte Länge gebrachten längeren Lichtstrahles gemessen wird. 1 Grad Lichtstärke ist das 10fache jener Helligkeit, mit welcher die innere Fläche einer mit dem Radius von 450 mm beschriebenen Hohlkugel in dem Falle beleuchtet erscheinen würde, wenn die in einem bestimmten Verhältnisse geschwächte Wirkung eben derselben Flamme in einem Abstande von 3 Metern nicht mehr von dem Auge wahrgenommen werden kann. Die Vorrichtung kostet 1500 Mk.[2]), hat daher schon aus diesem Grunde keine Aussicht auf Verbreitung.

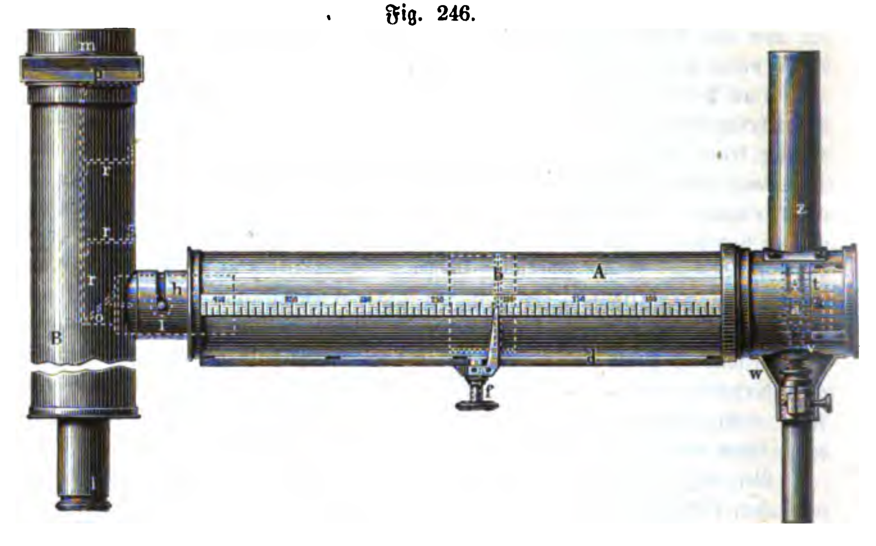
Bei der Lichtmeßvorrichtung von L. Weber[3]) ist die von der zu messenden Lichtquelle beleuchtete Fläche völlig getrennt von der durch die Normalflamme beleuchteten, so daß man die erstere Fläche beliebig zur Lichtquelle einstellen kann. Der Apparat ist namentlich zur Messung der Helligkeit des zerstreuten Lichtes, mag dasselbe Tages- oder Lampenlicht sein, aber auch einzelner Flammen, elektrischer Lampen u. s. w. geeignet. Diese Vorrichtung wird von Schmidt und Hänsch in Berlin in folgender verbesserter Form geliefert. In der innen geschwärzten Metallröhre *A* (Fig. 246 a. f. S.) ist, wie punktirt angedeutet, die von der Normalflamme *a* beleuchtete Fläche verschiebbar angeordnet. Diese Fläche wird durch eine oder mehrere Glasplatten *b* gebildet, welche je nach dem Zwecke der Messung aus Milchglas oder gefärbtem Glase bestehen. Diese Platten *b* werden in einen Rahmen eingesetzt, dessen Verschiebung innerhalb der Röhre *A* sich mittels eines durch einen Längsschlitz reichenden Knopfes *f*, oder mittels Zahnstangengetriebes *d* bewirken läßt. Die Stellung des Rahmens im Rohre *A* giebt der Zeiger *g* an dem außerhalb des Rohres angebrachten Maaßstabe an. In den Rohransatz *h* faßt ein vom Rohre *B* ausgehender Holzzäpfen, welcher durch einen Stift *i* gesichert ist. In dem Rohre *B* ist das Reflexionsprisma *o* befestigt, dessen eine Fläche normal zur Achse des Rohres *A* steht, so daß man an der Ocularöffnung *l* mit Hülfe des Prismas *o* die Beleuchtung der Glasplatten *b* im Rohre *A* beobachten kann. Dieses Prisma *o* theilt das Gesichtsfeld des Rohres *B* in zwei Hälften, so daß man, an der möglichst scharf zu haltenden linken Kante des Prismas vorbeisehend, die am Ende des Rohres in einen rahmenartig ausgebildeten Kopf *m* einzusetzenden Glasplatten *p* u. s. w.

---

[1]) Lumière électr. 1883, 58. — [2]) D. Coglievina: Centigradphotometer (Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn) 1880. — [3]) Annal. d. Phys. 20, *327; 26, *374; Elektrotechn. Zeitschr. 1884, *166; 1885, 24 u. *56; Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1884, 1259 u. 1274; 1885, *1229.

von der Ocularöffnung l aus gleichfalls beobachten und dadurch die beiden in den Rohren A und B befindlichen beleuchteten Flächen vergleichen kann. Hinter dem

Fig. 246.



Prisma o sind Blenden r angeordnet, welche einen störenden Einfluß der von der rechten Hälfte der Platten p herrührenden Lichtstrahlen vermeiden.

Als Vergleichslichtquelle wird eine Benzinkerze (vergl. S. 334) verwendet, da bei einer mit reinem Benzin gespeisten Flamme die Intensität I eine einfache Function der Flammenlänge l ist, nämlich (wenn a und b zwei Constanten sind): $I = (a + b l) J$, wenn J die Intensität der Flamme bei einer bestimmten Länge (1,5 bis 3 cm) ist. Um die Länge der Flamme bequem messen zu können, ist hinter derselben ein mit Millimeterskala versehener Spiegel angebracht, welcher durch einen mittels Schieber t zu verschließenden Spalt im Rohre A beobachtet werden kann. Die Benzinkerze v selbst wird von einem am Rohre A angebrachten Halter w getragen; oberhalb des Rohres A ist an dieser Stelle der Schornstein z angebracht. Das Rohr A selbst ist rechts durch eine Kappe geschlossen, nach deren Entfernung die Flamme angezündet und regulirt werden kann.

Zur Vergleichung zweier Lichtquellen gleicher Farbe richtet Weber den Tubus B auf die Lichtquelle 1 und bringt durch Verschiebung von b beide Theile des Gesichtsfeldes auf gleiche Helligkeit. Man beobachtet hierbei die Entfernung R_1 der Lichtquelle von p, ferner den Abstand r_1 der Platten b von a und die Höhe l_1 der in a befindlichen Benzinkerze. Bei einem zweiten Versuch richtet man B auf die Lichtquelle 2, stellt ein und beobachtet $R_2 r_2$ und nöthigenfalls l_2, falls die Flammenhöhe absichtlich oder unabsichtlich geändert ist. Für beide Versuche bleiben die Absorptionsconstanten der Milchgläser und des Prismas dieselben; die abgeänderte Länge des Weges von b durch das Prisma zum Auge ist ohne Einfluß, und es berechnet sich demnach in einfacher Weise aus den beobachteten Größen:

$$\frac{J_2^{(r)}}{J_1^{(r)}} = \frac{R_2^2 \cdot r_1^2 (a + b l_2)}{R_1^2 \cdot r_2^2 (a + b l_1)}.$$

Bei praktischen Messungen wird man an Stelle des ersten etwa auf ein Normallicht N von der Intensität J_1 bezogenen Versuches wiederholte Vorversuche anstellen, durch welche das Verhältniß der Absorptionsconstanten in beiden Theilen des Gesichtsfeldes, sowie die Beziehung des Hülfsnormallichtes a zu dem Normallicht N ermittelt wird. Die Messung einer Lichtquelle 2 wird dann durch einen einzigen Versuch beendet sein, für dessen Berechnung:

$$\frac{J_2^{(r)}}{J_1^{(r)}} = \frac{J_2}{J_1} = C \frac{R_2^2 (a + b l_2)}{r_2^2},$$

gilt, worin C eine durch ebenso leicht anzustellende Vorversuche ermittelte Constante ist.

Zur Vergleichung der Beleuchtungskräfte des von zwei Lichtquellen gleicher Farbe herrührenden zerstreuten Lichtes stelle man an der fraglichen Stelle des Raumes in der beabsichtigten Lage einen Schirm aus mattem weißen Carton auf und richte auf denselben den beweglichen Tubus B des Apparates. Hierbei ist es, was bei Beobachtung von sehr schwachem diffusen Licht in Betracht kommt, nicht nothwendig, daß sich bei p in dem Apparate außer der durchsichtigen rothen Glasplatte noch eine Milchglasplatte befindet. Bei Beobachtung von stärkerem diffusen Licht sind dagegen ein oder mehrere Milchgläser bei p anzubringen, und es ist außerdem ein Conus m vor diese Platten zu setzen, damit die letzteren nur von Stellen des Schirmes, nicht auch von anderen seitlichen Gegenständen Licht empfangen. Die Entfernung des Apparates vom Schirm ist in beiden Fällen ohne merklichen Einfluß auf die Beobachtung. Nur wird man dieselbe so zu wählen haben, daß nicht durch den Apparat selbst ein merklicher Schatten auf dem Schirm entsteht, was meistens ohne Schwierigkeit ausführbar ist. Man verschiebt alsdann die Platten b, bis gleiche Helligkeit im Gesichtsfelde eintritt. Bei einem zweiten Versuche wird nun im verdunkelten Zimmer derselbe weiße Schirm durch ein Normallicht in der Entfernungseinheit und unter normaler Incidenz (vergl. S. 373) beleuchtet. Man richtet den Tubus B auf den Schirm und macht die Einstellung der Platten b unter jedesmaliger Ablesung ihrer Abstände r von der im Apparate befindlichen Benzinkerze. Letztere Bestimmung kann unterbleiben, wenn durch Vorversuche die Constanten des Apparates und des weißen Schirmes ermittelt sind.

Bei dem Lichtmesser von Ch. Otto (D. R.-P. Nr. 19300) wird eine kreisrunde Scheibe, abgesehen von einer freibleibenden Stelle, dem Nullpunkt, radial in so viele gleiche Theile abgetheilt, als das Instrument Lichtgrad angeben soll. Jeder hierdurch gebildete Kreisausschnitt erhält auf seiner oberen Hälfte einen transparenten, Licht absorbirenden Belag, welcher bei jedem dem ersten folgenden Ausschnitt an Stärke und somit an Licht absorbirenden Kraft zunimmt. Der Belag, welcher nur auf der einen dem Beobachter zugekehrten Seite der Scheibe angebracht wird, kann entweder durch über einander geklebte Papierblätter, oder durch Auftrag von Collodium hergestellt werden, welches stufenweise eine dunklere Färbung erhält. Die Zunahme an Absorptionsvermögen des Belages

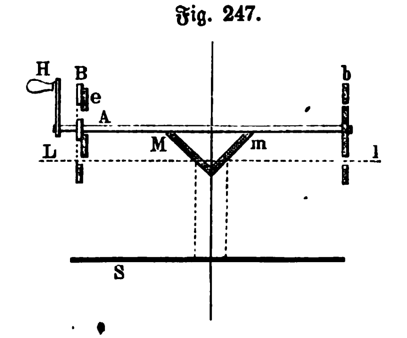
bei den auf einander folgenden Ausschnitten soll immer der um eine Lichteinheit in der Einheitsentfernung vermehrten Beleuchtung der Scheibe A entsprechen. Statt der belegten Glasscheibe kann auch durchscheinendes Porzellan von stufenweise zunehmender Dicke verwendet werden[1]).

F. H. Hänlein (D. R.-P. Nr. 13216) verwendet in entsprechender Weise verschieden dicke lichtzurückhaltende Flüssigkeitsschichten[2]).

Simonoff (D. R.-P. Nr. 28213) bringt zwischen das Auge und die beleuchteten Zeichen oder Zahlen Blendscheiben, welche das Licht so weit schwächen, daß man die Zahlen eben nicht mehr sehen kann. Die Weite der Spaltöffnungen geben dann das Maaß für die Helligkeit[3]). — Aehnlich ist die von Cornu[4]) vorgeschlagene Vorrichtung.

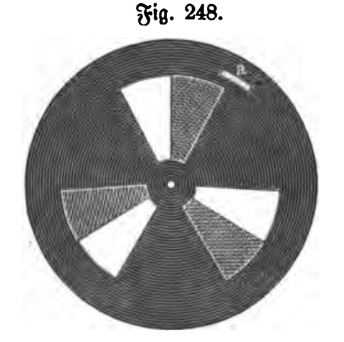
F. Guthrie[5]) läßt das Licht der beiden zu vergleichenden Flammen durch zwei unter 45° geneigten Spiegel M und m (Fig. 247) auf einen durchscheinenden Schirm S werfen, so daß zwei Spiegelbilder neben einander entstehen, deren Gleichheit er durch folgende Vorrichtung erreicht. Auf der Welle A sind zwei Messingscheiben B und b befestigt, welche mit Schlitzen versehen wurden; die Schlitze der Scheibe B sind erheblich weiter als die der anderen Scheibe; sie können aber durch die bewegliche Scheibe e beliebig verengt werden. Die beiden Scheiben werden nun so rasch gedreht, daß auf den Schirm S zwei helle Bänder neben einander entstehen, welche scheinbar von einer ununterbrochenen Lichtquelle herrühren. Man verstellt nun die Schlitze der Scheibe B vor der Normalflamme L so lange, bis der von dieser auf den Schirm fallende Lichtstreifen genau so hell ist als der von der zu vergleichenden Lichtquelle l; die durch die Schlitze gehenden Lichtmengen beider Flammen sind dann gleich. Ihre Lichtstärken verhalten sich demnach umgekehrt wie die Weite der Schlitze.

Fig. 247.



L. Pfaundler und H. Hammerl[6]) wollen bei Messung starker Lichtquellen diese dadurch schwächen, daß sie zwischen Lichtquelle und Bunsen'schen Photometerschirm eine geschwärzte mit Ausschnitten versehene Scheibe setzen, welche um eine wagerechte Achse gedreht wird. Um nun die nöthige Schwächung für die zu prüfende Lichtstärke herbeizuführen, hat man einfach die Scheiben allmählich über einander zu schieben, Fig. 248, wodurch die drei Sectoren fortwährend kleiner

Fig. 248.



[1]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technol. 1882, 1014 u. *1112. — [2]) Daselbst 1881, 984. — [3]) Daselbst 1884, *1258; Compt. rend. 97, 1053. — [4]) Engineering 35, *30. — [5]) Daselbst 28, 440. — [6]) Elektrotechn. Zeitschr. 1883, *262.

werden, bis der Fettfleck auf dem Schirme verschwindet. Beträgt dann z. B. die Summe der entstandenen Sectoren nunmehr 30°, so ist die Lichtstärke auf 1/12 reducirt worden. Die rotirenden Scheiben werden so vor dem Schirme mit dem Fettfleck aufgestellt, daß man an demselben vorbei mit Leichtigkeit das Verschwinden des Fleckes bei gleichzeitigem Drehen beobachten kann. Auf einer Scheibe ist eine Theilung angebracht, welche direct durch einen Ausschnitt der anderen Scheibe *a*, die Summe der Sectoren, ausgedrückt in Graden, abzulesen erlaubt. Die Zahl 360 dividirt durch die abgelesene Zentriwinkelsumme giebt dann die Schwächung.

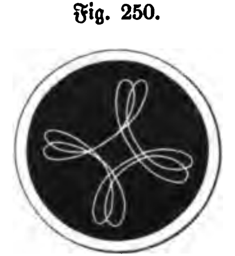
D. Napoli[1]) benutzte bereits früher das gleiche Schwächungsmittel, nur sind die Ausschnitte am Rande der Scheiben angebracht.

Wheatstone[2]) verwendet eine glänzende Stahlkugel *a* (Fig. 249) auf einer schwarzen Scheibe *n*, getragen von dem kleinen Zahnrade *c*, welches beim Drehen der Kurbel *e* sich an dem inneren Umfange des gezahnten großen Kreises bewegt. Bei raschem Drehen beschreibt die von zwei Lichtquellen getroffene Kugel eine

Fig. 249.



Fig. 250.



doppelt geschlossene Figur (Fig. 250), deren Helligkeit durch passende Stellung der Lichtquellen gleich gemacht wird.

Masson[3]) verwendet eine Scheibe mit abwechselnd schwarzen und weißen Kreisausschnitten, so daß sie bei raschem Drehen gleichmäßig grau erscheint. Bei augenblicklicher Beleuchtung erscheinen die Kreisausschnitte schwarz und weiß, als stände die Scheibe still. In einer gewissen Entfernung der Lichtquelle erscheint aber die Scheibe wieder grau. Die Lichtstärken verhalten sich dann wieder umgekehrt wie das Quadrat der Entfernungen. Die Vorrichtung soll namentlich zu Helligkeitsmessungen von Blitzen, elektrischen Funken und dergleichen gute Dienste leisten.

J. Jolly[4]) schmilzt zwei gleiche Prismen aus Paraffin aneinander und beleuchtet dieselben auf der einen Seite mit je der einen der zwei zu vergleichenden Lichtquellen. Jedes der beiden Paraffinprismen verhält sich wie ein Selbstleuchter. Sind die Lichtquellen gleich stark, so erscheinen beide Prismen als ein überall gleichhelles Stück. Durch Verschiebung zweier von vornherein ungleicher Lichtquellen bringt man sie auf gleiche Helligkeit.

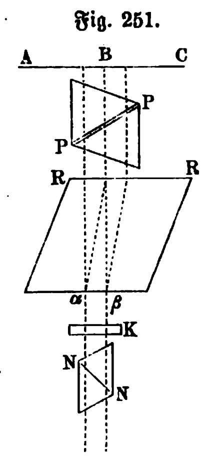
---

1) Revue industr. 1880, *154.
2) Engineering (1883) 35, *75.
3) Annal. de phys. et de chim. 15; Engineering 35, *30.
4) Natur 1885, 330.

Polarisationsphotometer wurden von Arago[1]), H. Wild[2]) u. A. angegeben, bei denen das Licht durch Polarisation geschwächt wird. Am besten ist das von Wild, und möge daher dieses in seiner neuesten Form eingehender besprochen werden (vgl. S. 364).

Es sei ABC (Fig. 251) eine Fläche, welche auf der einen Hälfte AB von der einen Lichtquelle der Intensität J und auf der anderen BC von der zweiten Lichtquelle der Intensität J_1 beleuchtet werde. Zwei Strahlenbündel von der einen und anderen Hälfte der erleuchteten Fläche aus der Nähe der Trennungslinie B gehen zunächst durch einen Polarisator P und fallen dann senkrecht auf die vordere natürliche Begrenzungsfläche des Kalkspathrhomboëders R. Beim Austritte aus diesem Rhomboëder werden im Raume $\alpha\beta$ die gewöhnlich gebrochenen, parallel zum Hauptschnitte des letzteren polarisirten Strahlen von AB bezw. J her mit den ungewöhnlich gebrochenen, senkrecht zum Hauptschnitte des Rhomboëders polarisirten Strahlen von BC bezw. J_1 her zusammenfallen. Das vereinigte Strahlenbündel durchsetzt schließlich, ehe es zum Auge des Beobachters gelangt, das aus der farbengebenden Krystallplatte K und dem Polarisator N bestehende Polariskop. Die Interferenzfarben im letzteren verschwinden, wenn das vereinigte Strahlenbündel $\alpha\beta$ gleiche Mengen senkrecht zu einander polarisirten Lichtes enthält. Dies ist aber der Fall, wenn $J:J_1 = C tg^2 v$, wo v den Winkel darstellt, welchen die Polarisationsebene P mit dem Hauptschnitte des Kalkspathromboëders einschließt, und C nach der Neumann'schen Theorie gegeben ist durch die Formel:

Fig. 251.



$$C = \frac{(1 + a^2)\sqrt{c^2 sin^2 v + a^2 cos^2 v}}{a(1 + c^2 sin^2 v + a^2 cos^2 v)},$$

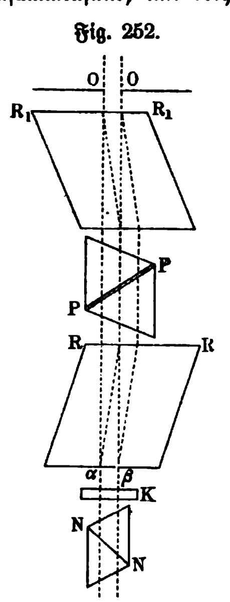
wo a das reciproke Brechungsverhältniß des gewöhnlich und c dasjenige des ungewöhnlich gebrochenen Strahles im Kalkspathe, endlich v den Winkel der Normalen der oberen Rhomboëderfläche R mit der optischen Achse des Krystalles darstellen. Sind diese Größen und damit C gegeben, so ist das Verhältniß der beiden Lichtquellen aus dem zu beobachtenden Winkel v nach obiger Formel zu berechnen. Der Winkel $2v$ aber wird erhalten, wenn man den Polarisator P um seine Achse einmal nach der einen und dann nach der anderen Seite dreht, bis die Farben im Polariskope verschwinden, und dabei die Kreistheilung auf einer zu dieser Achse senkrechten Scheibe abliest.

Soll das Instrument noch als Polarimeter verwendet werden, so hat man vor dem Polarisator P noch ein zweites Kalkspathrhomboëder R_1 (Fig. 252) so anzubringen, daß sein Hauptschnitt mit demjenigen des ersteren einen Winkel von 180° einschließt. Das zu untersuchende Lichtbündel muß hier durch einen Schirm

[1]) Engineering (1883) 35, *76. — [2]) Annal. d. Phys. (1863) 118, 193; (1883) 20, *452.

mit Oeffnung O von solcher Breite begrenzt werden, daß die Rhomboëder durch Doppelbrechung eben zwei an einander grenzende Bilder derselben erzeugen. Richtet man nun den Versuch so ein, daß die Polarisationsebene des durch die Oeffnung O einfallenden, theilweise polarisirten Lichtes mit dem Hauptschnitte der Rhomboëder zusammenfällt, und dreht dann wieder den Polarisator P bis zum Verschwinden der Interferenzfarben im Polariskope, so berechnet sich das gesuchte Verhältniß der Intensität p des polarisirten Lichtes zur Intensität J des natürlichen Antheiles im theilweise polarisirten Lichte nach der Formel:

Fig. 252.



$$p:J = \frac{1}{2}(C^2 tg^4 v_1 - 1),$$

wo v_1 entsprechend, wie oben v, den beobachteten Winkel zwischen der Polarisationsebene des Polarisators und dem Hauptschnitte der Rhomboëder darstellt und C wieder durch die obige Formel gegeben ist, a, c und v. bei beiden Rhomboëdern als gleich vorausgesetzt.

Bei dem neuen, in Fig. 253 und 254 (a. f. S.) perspectivisch dargestellten Instrumente werden sämmtliche Theile des Apparates von vier Säulen getragen, welche auf einem T-förmigen Lineale T aufgeschraubt sind. Dieses Lineal ist mittels eines Gelenkes B auf der Säule A mit Dreifuß befestigt; also im Horizont und in einer Vertikalebene drehbar. Das Polariskop N besteht jetzt, wie bei einem Polaristrobometer, aus einem ungefähr 5 mal vergrößernden, auf die Unendlichkeit eingestellten Fernrohre mit einer Doppelplatte aus Kalkspath (statt Bergkrystall) vor dem Objective, einem andreaskreuzförmigen, justirbaren Fadenkreuze im Focus des letzteren und einem Nicol vor dem Oculare gegen das Auge zu. In der Achse des Theilkreises K ist nach hinten zu der Polarisator P (Senarmont'sches Prisma oder Polarisator nach Hoffmann, beide mit geraden Endflächen) ebenfalls durch seitliche Schrauben justirbar befestigt. Mittels des Knopfes r in der Nähe des Beobachters und eines am anderen Ende dieser Stange sitzenden Getriebes, welches in ein Zahnrad am Kreise eingreift, kann der letztere sammt Polarisator bequem um seine Achse gedreht werden. Die Kreistheilung aber ist am Nonius mittels des Fernrohres S auf der anderen Seite des Polariskopes vom Beobachter abzulesen, ohne daß er sich von seinem Platze zu erheben braucht.

In der inneren Röhre ist das Kalkspathrhomboëder R mit Korken und einem Wachsgusse unveränderlich so befestigt, daß seine beiden polirten Endflächen nahe senkrecht zur Röhrenachse sind; mit dieser Röhre ist dann das Rhomboëder in der äußeren Fassung durch seitliche, in der Zeichnung sichtbare Schrauben stellbar eingesetzt. Zwei Deckel mit passender centraler Oeffnung, von welchen der eine fest, der andere drehbar und durch zwei votragende Schrauben klemmbar angebracht ist, dienen als Schutz für die Kalkspathflächen und halten seitliches Licht

davon ab. Um das Rhomboëdergehäuse ist endlich noch eine Art Zaum z gelegt, mittels dessen und der Schraube s dasselbe auf seinem Lager festgehalten wird. In ganz gleicher Weise ist das zweite Rhomboëder R_1 gefaßt. Beim Gebrauche des Instrumentes als Photometer wird statt desselben eine leere, entsprechend geformte Trommel eingelegt. In der Messingröhre M ist die Röhre E (Fig. 254) des Prismenapparates J einzuschieben und durch die Schraube m festzuklemmen. Eine Abschlußplatte der Röhre E besitzt eine runde centrale Oeffnung, welche besonders für den Gebrauch des Instrumentes als Polarimeter durch zwei Schieber o und o_1 beliebig begrenzt werden kann. Darauf folgen in dem würfel-

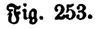


Fig. 253.

Fig. 254.

förmigen Kasten G zwei auf einem Stuhle befestigte rechtwinkelige Glasprismen, welche mit ihren einen Kanten gegenüber der Achse der Röhre E zusammenstoßen. In die seitlichen Röhrenansätze dieses Kastens sind diejenigen von zwei anderen dreieckigen Kasten F eingeschoben, welche ebenfalls rechtwinkelige, durch Schrauben einstellbare Glasprismen enthalten. Die Oeffnungen α, β und γ sind durch Deckel verschließbar.

Fig. 253 zeigt die zum Gebrauche des Instrumentes als Spektrophotometer nothwendigen Zuthaten. Wie man sieht, ist das Polariskop N mit seinem Ansatze n nicht direct in die Röhre O bis zum Anschlage n_1 eingeschoben, sondern zunächst in ein Zwischenstück D, welches seinerseits wieder in O eingesteckt ist.

Dieses Zwischenstück D besteht aus zwei durch ein Gelenk bei e verbundenen Theilen, von welchen der feste, im Rohre O steckende Theil ein 5 faches Amici'sches Prisma von Steinheil in München (brechende Kante der Prismen horizontal) enthält, während der um eine wagerechte Achse dagegen mittels der Mikrometerschraube g verstellbare zweite Theil zur Aufnahme des Polariskopes dient, so daß eben dieses auf die verschiedenen Theile des aus jenem Prisma (à vision directe) austretenden Spektrums central eingestellt werden kann. Um hierbei ein hinlänglich reines Spektrum zu erhalten, ist zunächst noch hinter den Schiebern o, o_1 des Prismenkastens ein zweiter, leicht zu entfernender Schieber mit horizontalem Spektralspalt eingesetzt, dessen Spaltweite durch die Schraube t regulirt bezw. mikrometrisch gemessen werden kann, und sodann ist beim dritten Ständer eine achromatische Linse von 110 mm Brennweite (Abstand von dem Spektralspalte) in seine mittlere Oeffnung eingeschraubt[1]).

Denken wir uns das Kalkspathrhomboëder R entfernt, so wird man im Polariskopf-Fernrohre zwei neben einander liegende, in einer Lothrechten sich berührende Spektren der beiden Lichtquellen erblicken, da die eine Hälfte des Spektralspaltes von der einen und die andere von der anderen Lichtquelle beleuchtet wird. Auf diesen Spektren werden sich die Interferenzfransen der Savart'schen Doppelplatte als wagerechte schwarze Querlinien projiciren und bei Einsetzung des Rhomboëders jeweilig im centralen Theile des Gesichtsfeldes (bezw. dem Raume $\alpha\beta$, wo jetzt die gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Strahlen der beiderlei Lichtquellen zusammenkommen) verschwinden, wenn für die betreffende Farbe durch Drehung des Polarisators die Intensitätsgleichheit dieser senkrecht zu einander polarisirten Strahlen erzielt ist. Dabei kann auch die Farbe, für welche die Vergleichung jeweilig stattgefunden hat, genau erkannt werden, indem man bloß die Stellungen des Mikrometers g unter Hinrichten des Instrumentes nach der Sonne ein für allemal ermittelt, welche dem Einstehen der optischen Achse des Polariskopf-Fernrohres auf die verschiedenen Fraunhofer'schen Linien entsprechen.

Das Intensitätsverhältniß der beiden Lichtquellen für die fragliche Farbe ist dann aus dem beobachteten Winkel ν ebenfalls nach der oben angegebenen Formel zu berechnen, wobei nur im Ausdrucke für die Constante C jeweilig für a und c die der betreffenden Farbe entsprechenden reciproken Brechungsverhältnisse einzuführen sind. Bei der natürlichen Bruchfläche des Kalkspathes, wie sie hier benutzt wird, ist aber: $\nu = 44^0\ 34'\ 38''$ und nach Rudberg's Bestimmungen am Kalkspath ergeben sich folgende Werthe von a, c und somit auch von C für die Fraunhofer'schen Linien:

[1]) Zur Rückverwandlung in das gewöhnliche Photometer ist also einfach die Linse beim dritten Ständer abzuschrauben, das Stück mit dem Spektralspalte zu entfernen und durch einen Schieber mit runder centraler Oeffnung zu ersetzen, sowie endlich das Stück D beim Polariskope wegzunehmen und letzteres direct in die Röhre O einzuschieben.

Linie	a	c	C
B	0,60493	0,67389	1,0251
D	0,60295	0,67279	1,0256
E	0,60111	0,67174	1,0261
F	0,59951	0,67080	1,0266
G	0,59660	0,66911	1,0274

Die bei Gleichung $J : J_1 = C tg^2 v$ gemachte Voraussetzung, einer gleich starken Absorption bezw. Reflexion des Lichtes der beiderlei Lichtquellen beim Durchgange durch den Prismenapparat und durch eine durchscheinende Platte vor ihm, bezw. beim Reflex von einer weißen Fläche an ihrer Stelle, ist natürlich in Wirklichkeit nur annäherungsweise als erfüllt zu betrachten; man kann sich aber bei genauen Untersuchungen einfach durch Vertauschen der beiden Lichtquellen im Resultate davon abhängig machen. Wo dies nicht angeht, kann man die Constante C, welche in diesem Falle auch noch diese unbekannte Beziehung einschließt, wenigstens für die Dauer der augenblicklichen Versuche genau genug durch Hinrichten des Apparates nach einer ganz gleichmäßig erleuchteten Fläche ($J = J_1$) empirisch bestimmen. Stehen die beiden zu untersuchenden Lichtquellen einander gegenüber, so daß man den Prismenapparat ohne die beiden äußeren Prismen F benutzt, so kann auch durch bloßes Umkehren desselben um 180° der betreffende Fehler annähernd ausgeglichen werden. Hat man z. B. matt geschliffenes Glas zur gleichförmigen Erleuchtung des Gesichtsfeldes als durchscheinende Schirme unmittelbar an den Eintrittsöffnungen des Prismenapparates fest angebracht, so wird überhaupt die Umkehr des letzteren um 180° den fraglichen Fehler ganz beseitigen.

Auf das Spektrophotometer von R. T. Glazebrook[1]) möge verwiesen werden.

Bei Messungen von elektrischem Licht[2]), namentlich Bogenlicht, sind als erschwerende Umstände zu beachten, große Helligkeit, die ungleichmäßige Vertheilung derselben und die verschiedene Farbe der Beleuchtung (vergl. S. 366).

Da bei Messung großer Lichtstärken ein kleiner Fehler in der Einstellung des Photometerschirmes einen großen Fehler in dem daraus berechneten Helligkeitsverhältniß bedingen würde, so wurde auf der elektrotechnischen Ausstellung in München im Jahre 1882[3]) zunächst der Einlochbrenner mit einem Argandbrenner von etwa 12 Kerzen, dieser mit einem Siemens'schen Regenerativ-Gasbrenner von etwa 120 Kerzen und endlich dieser mit einer Bogenlampe verglichen. Es wurde hierdurch gleichzeitig erreicht, daß der für die Genauigkeit der

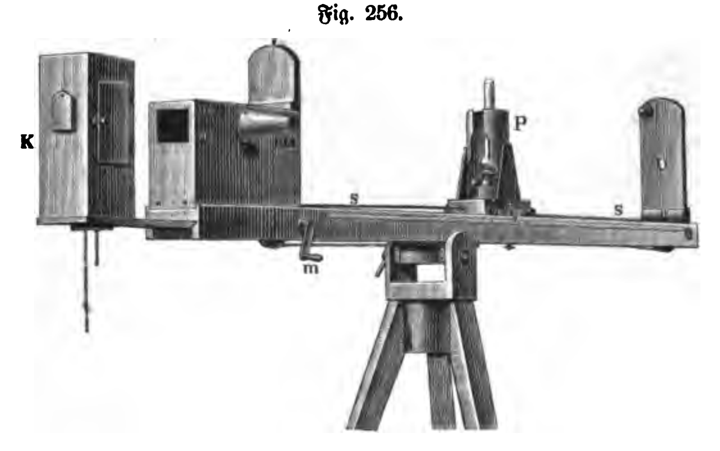
[1]) Proc. of the Camb. Phil. Soc. 1883, 304; Beibl. z. Annal. d. Phys. 1883, 213. — [2]) Vergl. die älteren Messungen: Poggend. Annal. 63, 463 u. 576; Hassenstein: Das elektrische Licht (Gotha 1865). — [3]) Bayer. Ind. Gewerbebl. 1883, 26; Jahresber. d. chem. Technol. 1883, *1237.

photometrischen Beobachtungen so störende Farbenunterschied der Lichtquellen beträchtlich abgeschwächt wird (vergl. S. 366), indem das Licht der Einloch-Argand-Siemens-Brenner und der Bogenlampe aus Gelb immer mehr in Weiß übergeht. In dem in Fig. 255 gezeichneten Grundrisse des Beobachtungsraumes sind *AB* und *BC* 2 Maaßstäbe von 4 bezw. 10 m Länge, auf welchem sich 2 Photometerschirme *D* und *E* verschieben. Mit Hülfe des Photometers *D* kann der Einlochbrenner *a* mit dem Argandbrenner *b* und dieser sodann mit dem Siemensbrenner *c* verglichen werden, endlich letzterer durch das Photometer *E* mit der Bogenlampe *d*. Bei vielen Bestimmungen der Helligkeit von Bogenlampen wurde der Einlochbrenner *a* an Stelle des Argandbrenners gebracht und nun ganz gleichzeitig die Einstellung von *D* für *a* und *c*, und von *E* für *c* und *d* ausgeführt. Die minder hellen Glühlampen konnten auf dem Maaßstabe *AB* direct mit dem Einlochbrenner verglichen werden. — Fast genau so wurden die Messungen auf der Wiener Ausstellung 1883 ausgeführt[1]).

Fig. 255.

Fig. 256 zeigt die bei Siemens u. Halske angewendete Vorrichtung mit der S. 344 erwähnten Prismenablesung. Im mit Löchern versehenen

Fig. 256.



Kasten *K*, welcher bei der Messung des elektrischen Lichtes entfernt wird, ist die Normalkerze zugfrei untergebracht. Nach derselben wird die Erdölflamme *P* bei Beginn und nach Schluß der Messungen gestellt (vergl. S. 335). Die Entfernung der Erdöllampe vom Papierschirme wird durch Drehen an der Kurbel *m* eingestellt und an der Skala *s* abgelesen. Das ganze Photometer kann schräg gestellt werden, um auch Lichtstrahlen unter verschiedenen Neigungen messen zu können. Der Träger der Erdöllampe ist in der Höhe der Flammenmitte so drehbar ge-

[1]) Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Archit.-Ver. 1884, *272.

lagert, daß die Lampe bei Neigung des Apparates immer senkrecht bleibt. Es ist ferner die Anordnung getroffen, daß das Photometer und zum Theile auch der Beobachter mit schwarzen Tüchern umhängbar ist, so daß man es auch bei nicht voller Dunkelheit benutzen kann.

Perry und Ayrton[1]) schalten zwischen dem elektrischen Lichte und dem Photometerschirme eine Zerstreuungslinse ein, Hopkinson eine Planconvexlinse.

Wybauw[2]) ermöglicht die Messung dadurch, daß die zwei zu vergleichenden Flächen beide, aber in verschiedener Entfernung von der elektrischen Lichtquelle beleuchtet werden und daß auch die entferntere und darum schwächer beleuchtete Fläche zugleich noch Licht von der Meßflamme fällt, so daß sie dadurch dieselbe Helligkeit bekommt, wie die andere Fläche (vergl. S. 346).

Ungleiche Vertheilung. Bekanntlich nimmt bei Gleichstromlichtern der positive Kohlenstab, welcher stets als der obere genommen wird, die Form einer abgestumpften Spitze an, selbst mit einer geringen Aushöhlung an Stelle der Spitze, während der untere negative Kohlenstab richtig spitz oder wenigstens mit einer stark convexen Kuppe abbrennt (vergl. S. 363). An der unteren Spitze leuchtet nur eine kleine Stelle, während weitaus das meiste Licht von der Innenseite der nach unten gekehrten Aushöhlung der oberen Kohle ausgestrahlt wird und darum ausschließlich nach abwärts fällt. Das anschaulichste Bild von dieser Erscheinung erhält man durch Einschließung des Lichtes in eine Kugel aus Milchglas. Der obere Theil der Kugel ist dann verhältnißmäßig dunkel, der untere sehr hell, mit Ausnahme des ganz unteren Theiles, wo sich wieder der Schatten des unteren Kohlenstabes bemerkbar macht. Die Grenzen zwischen den Helligkeitszonen liegen aber fast nie wagerecht, sondern mehr oder weniger schief und zwar besonders dann, wenn die Kohlenstäbe nicht ganz gerade sind und darum nicht ganz genau über einander stehen (Fig. 257). Wie Hefner-Alteneck hervorhebt, müssen demnach Messungen des freien Lichtes in wagerechter Richtung, wie sie ehemals allein üblich waren, sehr unsichere Resultate ergeben. Je nachdem man das bloße Licht zufällig von der einen oder anderen Seite aus messen würde, befände man sich schon in der hellen oder noch in der dunklen Zone. Auch bei wagerechter Stellung der Lichtzonen, welche man

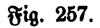
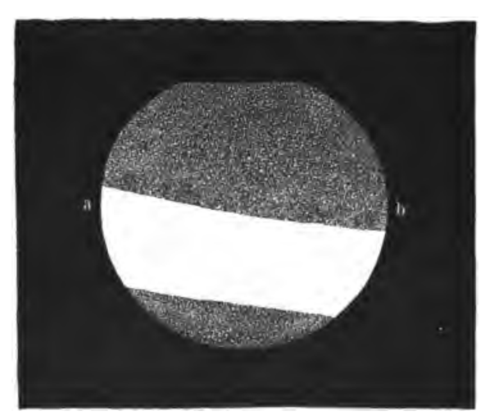


Fig. 257.



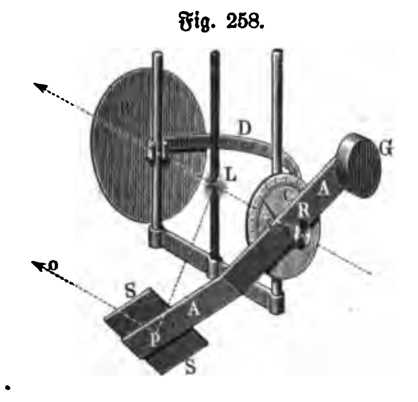
---

[1]) Engineering 31, *72; Elektrotechn. Zeitschr. 1883, 178. — [2]) Annal. industr. 1885, *779.

durch besonders sorgfältige Einstellung der Kohlen herbeiführen könnte, würde man die Helligkeit ungefähr auf der Grenze zwischen beiden messen und Werthe erhalten, aus denen sich nur sehr unsicher auf die praktisch nutzbare Lichtstärke schließen ließe.

Fig. 258 zeigt den kleinen Apparat, mit welchem derartige Messungen bei Siemens u. Halske vorgenommen werden. Der Haupttheil desselben ist ein kleiner, an einem gebogenen drehbaren Arme *A* befestigter Spiegel *S*. Der Träger des ganzen Apparates, der Bügel *D*, kann mittels der Schraube *R* an eine elektrische Lampe (von der nur der untere Theil gezeichnet ist) angeklemmt werden. Es geschieht dies so, daß die Verlängerung der Achse, um welche der Arm *A* drehbar ist, durch den Lichtbogen geht. Diese Verlängerung wird auch in die Achse des entfernt stehenden Photometers gebracht, nach welchem also die in der Figur angebrachten Pfeile zeigen. Der Spiegel *S* ist in jeder seiner Lagen gleich weit vom Lichtbogen entfernt und so geneigt, daß er die aus dem Lichtbogen auf seine Mitte auffallenden Strahlen stets unter einem rechten Winkel (*Lpo*) nach dem Photometer reflectirt. Zwischen dem Photometer und dem Lichtbogen befindet sich die Metallscheibe *B*, welche den Durchgang der directen Lichtstrahlen nach dem Photometer verhindert. Dagegen gelangt der aus dem Spiegelbilde des Lichtbogens hervorgehende Strahlenkegel unbehindert nach dem Photometer. Die Neigung gegen die Horizontale, mit welcher diese Strahlen vom Lichtpunkte ausgesendet werden, entspricht der Neigung des Armes *A*. Dieselbe wird an dem Zeiger x und einem Gradbogen *C* abgelesen. Das Gegengewicht *G* dient zur Auswichtung des Spiegels und Armes *A*, welcher in jeder seiner Lagen durch geringe Reibung gehalten wird.

Fig. 258.

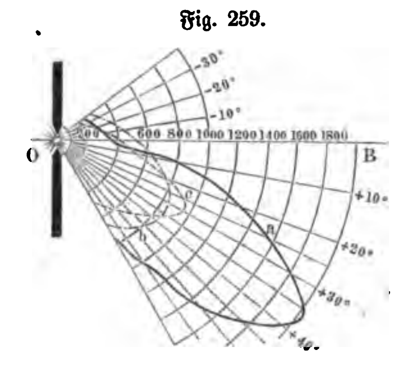


Um aus den gemessenen Werthen die absoluten zu erhalten, muß man noch den Absorptionscoëfficienten des Spiegels feststellen und in Rechnung ziehen. Da bei dem vorbeschriebenen Apparate der Reflexionswinkel stets der nämliche ist, so ist dieser Coëfficient auch stets der gleiche und braucht nur für eine Lage des Spiegels bestimmt zu werden. Zu dem Zwecke dreht man den Spiegel nach unten und die Lampe um 90° um die Lothrechte, so daß die Strahlen aus der gleichen Ebene direct von dem Lichtbogen nach dem Photometer fallen, in welcher sie vor oder nachher mittels des Spiegels zunächst ebenfalls in wagerechter Ausstrahlung zu messen sind. Die übrigens sehr geringe und auch für jede Stelle des Spiegels sich gleichbleibende Aenderung, welche in Folge der seitlichen Anbringung des Spiegels der Auffallwinkel der Strahlen im Photometer erfährt, wird dabei ebenfalls mitgemessen, also ausgeglichen.

In Fig. 259 (a. f. S.) sind durch die ausgezogene Curve *a* die Lichtstärken graphisch aufgetragen, welche mittels des vorbeschriebenen Apparates gemessen

sind und zwar von einem Lichte mit 9,4 Ampère Stromstärke, 45 Volt Spannungsdifferenz an den Kohlenstäben und bei 11 mm Dicke der oberen und 9 mm der unteren Kohle. Die Linie OB bezeichnet die Horizontale, O die Lichtquelle. Die Lichtstärken sind von O aus auf Linien, welche mit OB die gleiche Neigung haben, in welcher sie zur Horizontalen gemessen sind, aufgetragen. Die eingetragenen Werthe sind Mittelwerthe aus vielfachen Messungen, wie man überhaupt bei elektrischen Lichtmessungen sich nie mit einmaligen Beobachtungen begnügen darf, ja sogar eine reiche Erfahrung besitzen muß, um nicht mitunter recht groben Täuschungen ausgesetzt zu sein. Die stärkste Beleuchtung findet demnach unter einem Winkel von etwa 37° gegen die Wagerechte statt.

Fig. 259.



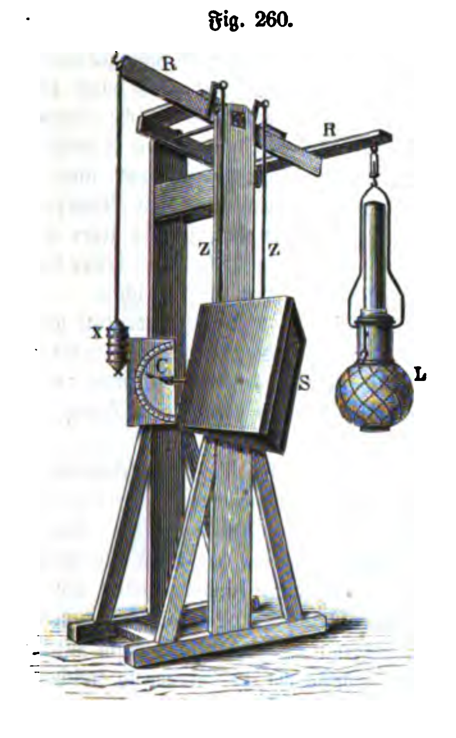
Verwickelter wird diese Sache noch durch die **Glasgloben**, ohne welche alle unteren Theile der Lampe, ja sogar Ungleichmäßigkeiten im durchsichtigen Glase, von dessen Verwendung zum Schutze der Lichter man doch nicht absehen dürfte, sehr häßliche, scharfe Schlagschatten werfen. Bei Lichtern von gleichmäßiger Ausstrahlung wird durch durchscheinende Globen oder Laternen das Licht gleichmäßig um gewisse Procentsätze geschwächt, je nach der verwendeten Glassorte. Diese betragen bei mattirtem und bei Alabasterglas etwa 15, bei Opalglas über 20 und bei Milchglas über 30 Proc., bei schlechten Sorten, welche man eben nicht verwenden darf, bis 60 Proc. und mehr.

Es wird durch eine Kugel aus trübem Glase jeder direct von dem Lichtbogen nach einem fernen Punkte fallende Strahl viel mehr geschwächt, als wie seiner thatsächlichen Beleuchtung entspricht, weil eben jeder Punkt der Umgebung auch von den übrigen Theilen der Glocke erhellt wird, welche so zu sagen an ihrer ganzen Oberfläche selbstleuchtend wird. Daraus folgt aber unmittelbar, daß bei ungleicher Ausstrahlung in der Richtung der stärksten Strahlen eine weit größere Schwächung der Beleuchtung durch trübe Globen bewirkt wird, als in der Richtung der schwachen Strahlen, ja daß in letzterer sogar eine Verstärkung des Lichtes eintreten kann, weil die vorher dunkleren Stellen der Umgebung nunmehr von den hell beschienenen Stellen der Glaskugel mitbeleuchtet werden. Es genügt demnach wieder zur Beantwortung der oft gestellten Frage, um wieviel Procent eine Laterne von bestimmter Glassorte die Beleuchtung vermindert, durchaus nicht die Angabe **eines** Procentsatzes, welchen man nur einmal in einer Richtung oder mit gleichmäßigem Lichte gemessen hat.

Bezügliche Versuche wurden mit einem größeren Spiegelapparate ausgeführt, welcher sich dadurch von dem S. 359 erwähnten unterscheidet, daß die Drehachse durch die Mitte des Spiegels geht und in die Photometerachse gebracht wird, während die elektrische Lampe mit der Laterne sich so mit dem Spiegel drehen läßt, als ob der Lichtbogen an einem mit einer Neigung von 45° aus der Mitte

der Spiegelfläche und senkrecht zur Drehachse hervorstehenden Arme befestigt wäre. Durch diese Aenderung ist erreicht, daß das Spiegelbild der Laterne stets an der gleichen Stelle bleibt. Die Laterne ist an einem drehbaren hölzernen Rahmen R aufgehängt, welcher durch zwei Zugstangen Z derartig mit dem Spiegel S verbunden ist, daß er sich stets gleichmäßig mit diesem drehen muß. Die Lampe selbst beschreibt dabei die erwähnte ziemlich große Kreisbewegung um den Spiegel, hängt dabei aber immer, wie es sein muß, lothrecht. Der Ausstrahlungswinkel der durch den Spiegel zum Photometer gehenden Strahlen gegen die Horizontale wird wieder an einem Gradbogen C mit Zeiger abgelesen.

Fig. 260.



Die mit dieser Vorrichtung festgestellte Curve c (Fig. 259) entspricht einer Laterne aus matt geschliffenem Glase, die Curve b einer Kugel aus einer neuen, in sich aber nur sehr wenig trüben Glassorte. Das elektrische Licht ist für alle Curven das gleiche. Man erkennt sofort die große Verminderung des Maximums, welche bei der Mattglaslaterne, der besten in dieser Hinsicht, über 50 Proc. beträgt. Man erkennt ferner aus dem Verlaufe der Curven die bereits erwähnte Erscheinung, daß an den Stellen der schwächsten Beleuchtung durch die Globen die Lichtstärke etwas erhöht wird. Für Globen aus Alabaster- und anderem Glase treten die Unterschiede noch mehr hervor. Es betrug das Maximum: für das freie Licht (Curve a), eintretend bei 35° Neigung, 1976 Normalkerzen; für die Mattglaslaterne (Curve c) bei 30° Neigung 941 Normalkerzen; für die Kugel (Curve b) bei 30° Neigung 864 Normalkerzen und für eine sogenannte Alabaster-Glaskugel bei 35° Neigung 652 Normalkerzen. Da somit nur ein sehr kleiner Theil des Lichtes nach oben fällt, so ist die Anbringung eines spiegelnden Schirmes über der Lampe nicht vortheilhaft.

Die Curve der Wechselstromlichter mit und ohne trübe Glocke gemessen, sind dagegen ungefähr concentrische Kreise, mit Ausnahme natürlich ihres obersten und untersten Verlaufes. Die Lichtstärke, nach allen Richtungen ausgestrahlt, würde, bei ungefähr gleichem Kraftaufwande in den Maschinen, der wagerecht gemessenen beim Gleichstromlichte nahekommen. In der vermehrten Ausstrahlung der Gleichstromlichter nach unten, d. h. dahin, wo die Beleuchtung praktisch fast

allein in Betracht kommt, sowie in dem geringen Umfange der Gleichstrommaschinen liegt zweifellos ein großer Vorzug.

Auf der Münchener Ausstellung (vergl. S. 356) wurde für Glühlampen die Vertheilung der nach den verschiedenen Richtungen stattfindenden Lichtausstrahlungen dadurch ermittelt, daß man zwei, möglichst gleiche Lampen in den gleichen Stromkreis einschaltete und nun die eine um ihren Mittelpunkt drehte, um in jeder Lage die Lichtstärken beider Lampen zu vergleichen.

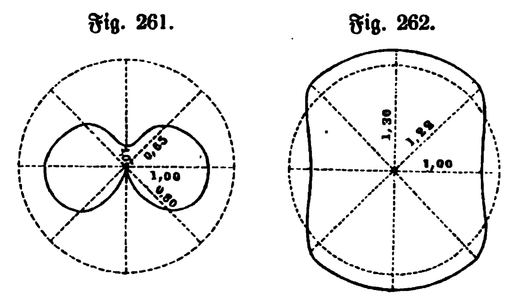
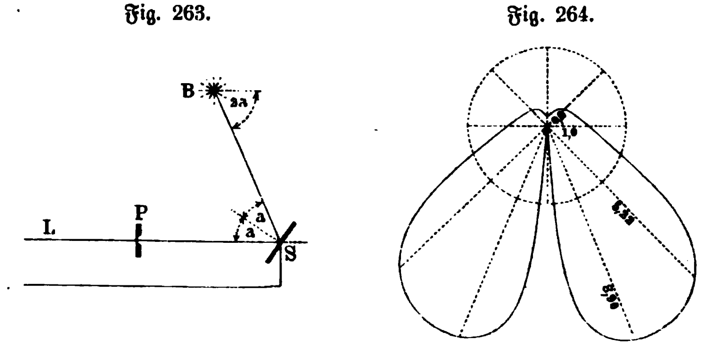


Fig. 261. Fig. 262.

Fig. 261 u. 262 zeigen die mit einer Edison'schen Lampe erhaltenen Ergebnisse für zwei auf einander senkrechte Ebenen, wobei die Richtung und Größe des ausgesendeten Lichtes durch die geraden Linien dargestellt wird.

Um bei Bogenlampen die mittlere Lichtstärke und gleichzeitig die Schwankungen derselben zu erhalten, wurde mit dem Photometerschirme den Lichtschwankungen fortwährend gefolgt und alle 10 Secunden abgelesen. Um die Lichtvertheilung in senkrechter Ebene festzustellen, wurde das Licht der Bogenlampe B (Fig. 263) durch einen Spiegel S aufgefangen und horizontal auf den Photometerschirm P geworfen. Es mußte natürlich der Schwächungscoëfficient des Spiegels durch eine Voruntersuchung ausgemittelt werden, um dann aus den Vergleichungen mit der Lichtquelle (L) die Lichtstärken zu berechnen, welche die Bogenlampe unter verschiedenen Winkeln gegen die Horizontale aussendet. In Fig. 264 ist die Lichtstärke einer durch eine Gleichstrommaschine bedienten Lampe

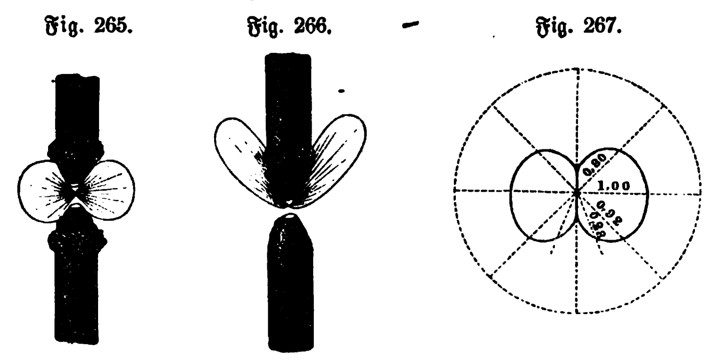
Fig. 263. Fig. 264.



nach den Beobachtungen von Allart dargestellt. Es ist hieraus ersichtlich, daß die Lichtstärke von der Horizontalen nach unten hin rasch zunimmt, daß dieselbe etwa unter 60° gegen den Horizont beinahe 6 mal größer, sodann aber rasch kleiner wird, während sie nach oben von der Horizontalen aus langsam abnimmt

(vergl. S. 360). Diese Lichtvertheilung wird offenbar durch die jeweilige Form der Kohlen bedingt [1]). Die positive — bei den gewöhnlichen Lampen meist obere — Kohle sendet 85 Proc. des ganzen Lichtes, die negative nur 10 und der Flammenbogen 5 Proc. aus. Man begeht daher durch die vorläufige Annahme, daß alles Licht von der positiven Kohle ausstrahle, keinen großen Fehler, und dann ist nach der Form der Kohle, wie sie aus Fig. 266 zu ersehen, die eben angegebene Lichtvertheilung eine einfache Folgerung. Bestärkt wird dieser Schluß durch die Beobachtung der Lichtvertheilung bei einer von Wechselströmen bedienten Lampe, wobei rasch hinter einander die positive Kohle zur negativen wird und umgekehrt. Beide Kohlen verzehren sich deshalb auch gleichmäßig, entsprechend

Fig. 265. Fig. 266. Fig. 267.



der Fig. 265 und die Lichtvertheilung ist daher auch eine gleichmäßigere, wie in Fig. 267.

Es ist ferner durch eine einfache Verstellung der Kohlen einer von einer Gleichstrommaschine getriebenen Lampe die Lichtvertheilung vollkommen zu ändern. Man traf z. B. bei Leuchtthürmen die Anordnung, daß man die Achse der unteren Kohle in eine Vertikale mit der vorderen Kante der oberen Kohle brachte, wodurch die Lichtvertheilung folgende wurde:

nach vorn	287	nach hinten	38
„ rechts	116	„ links	116

wobei die horizontale Lichtstärke bei der gewöhnlichen Kohlenstellung = 100 gesetzt ist. In Fig. 268 und 269 (a. f. S.) ist diese Lichtwirkung graphisch dargestellt.

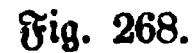
Bei der Herstellung von Glühlampen wird die Lichtmessung geradezu Fabrikationszweig, da es bekanntlich erforderlich ist, die Lampen zu sondern nach der Spannung, bei welcher sie die ihrer Oberfläche entsprechende Leuchtkraft besitzen, damit alle Lampen, welche in einer Anlage brennen, mit demselben Glanze, derselben Farbe leuchten und damit sie gleiche Lebensdauer besitzen. Strecker [2]) giebt hierfür entsprechende Anleitung. — C. Heim [3]) beschreibt ein Photometrirstativ für Glühlampen.

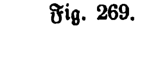
---

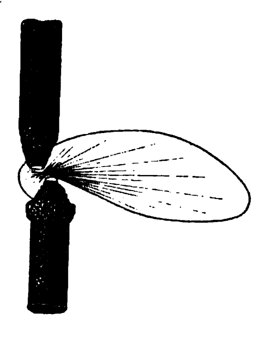
[1]) Vergl. auch Engineering 37, *361 u. 387. — [2]) Elektrotechn. Zeitschr. 1886, 145; Fischer's Jahresber. 1886, 377. — [3]) Elektrotechn. Zeitschr. 1886, *384.

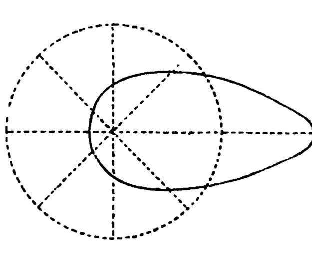
Zur Messung von farbigem Licht[1]) empfiehlt K. v. Vierordt[2]) einen Spectralapparat, wobei er zur Helligkeitsbestimmung der einzelnen Theile des Spectrums die Beimischung von Weiß benutzte, während Dietrich[3]) das Spectrum mit der Thermosäule prüft, so daß seine Messungen nicht als eigentliche Lichtmessungen bezeichnet werden können (vergl. S. 342).

Die Beurtheilung des Helligkeitsgrades zweier verschieden gefärbter Flächen durch das Auge ist am leichtesten bei Verwendung der Normalkerze für Gelb[4]), schwieriger für Roth und Grün, besonders schwer aber für Blau und Violett[5]). Diese Schwierigkeit wird wesentlich vermehrt durch das bekannte Purkinjé'sche Phänomen[6]), wonach jene Beurtheilung als eine Function der Intensität selbst auftritt. Eine rothe Fläche, welche bei einer gewissen schwachen Beleuchtung gleich hell mit einer grünen erscheint, wird es nicht mehr, wenn man


Fig. 268.


Fig. 269.





beide Flächen in demselben Verhältnisse heller beleuchtet. Ferner hängt die Beurtheilung der Helligkeiten von der Größe der beobachteten Flächen ab. Hieraus geht schon unmittelbar hervor, daß alle Untersuchungen, bei denen nicht die Gesammthelligkeit und Größe der beobachteten Photometerflächen angegeben ist, unvollständig sind. Lépinay und Nicati[7]) haben bei ihrer Untersuchung des normalen Sonnenspectrums ein Schattenphotometer angewendet, welches einerseits von den verschiedenen Theilen des Spectrums, andererseits von dem durch absorbirende Flüssigkeiten erhaltenen grüngelben Licht einer Vergleichslampe beleuchtet wurde. Setzt man die Helligkeit einer bestimmten Farbe = 1, so lassen sich für die übrigen Farben Coëfficienten ermitteln, welche angeben, um wie viel die Intensität des ursprünglichen Sonnenlichtes vermehrt werden muß, um die übrigen

---

1) Vergl. Fraunhofer: Denkschriften d. bayerischen Akad. d. Wissensch. 1884, 195; Gilbert's Annal. (1817) 56, 297. — 2) Vierordt: Die Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Vergleichung des farbigen Lichtes (Tübingen, H. Laupp); Annal. d. Phys. (1869) 137, 200; (1881) 13, 338. — 3) Dietrich: Die Anwendung des Vierordt'schen Doppelschalters (Stuttgart 1881), S. 8. — 4) Vergl. Göthe: Farbenlehre S. 767 u. 778. — 5) Vergl. Helmholtz: Physiologische Optik, §. 21. — 6) Vergl. Journ. de phys. (2) 1, 42 u. 86. — 7) Compt. rend. 91, 1078; 94, 785; 97, 1428; Annal. de chim. et de phys. (1881) 23, 289; (1883) 30, 145; vergl. Elektrotechn. Zeitschr. 1884, 225.

Farben von gleicher Helligkeit erscheinen zu lassen. Trägt man die reciproken Werthe dieser Coëfficienten als Ordinaten zu den als Abscissen genommenen zugehörigen Wellenlängen auf, so erhält man eine Helligkeitscurve für das untersuchte Spectrum und gültig für das Auge des betreffenden Beobachters. Um aus einer solchen einmal gewonnenen Curve die Helligkeiten anders gefärbter Lichtquellen zu bestimmen, ist es erforderlich, durch spectrophotometrische Untersuchungen, etwa mittels des Glan-Vogel'schen Apparates[1]) die verhältnißmäßigen Helligkeiten der einzelnen Farben eines Normallichtes und der durch letzteres auszumessenden Lichtquelle in Bezug auf jenes Sonnenspectrum zu ermitteln und für irgend eine Farbe eine absolute Intensitätsvergleichung auszuführen. Die Verhältnisse der von den so gewonnenen Curven begrenzten Flächenstücke ergeben alsdann ein Maaß für die Helligkeit des untersuchten, vom Normallichte in der Farbe abweichenden Lichtes. (Vergl. S. 354.)

Für praktische Messungen beschränkt Lépinay die Messung einer mit dem Normallichte verschiedenfarbigen Lichtquelle auf die Vergleichung zweier Farben und erledigt die physiologischen Coëfficienten durch entsprechende Voruntersuchungen. In der Formel $J = kR$ bedeutet J die nach der Methode der Flächenhelligkeit zu verstehende Intensität einer Lichtquelle, R diejenige des rothen, durch Eisenchlorid hindurchgegangenen Lichtes und k einen physiologisch beeinflußten Factor, welcher $k = 1 : [1 + 0{,}208\,(1 - V : R)]$ gesetzt werden kann, wenn V die Intensität des grünen, durch Nickelchlorür gegangenen Lichtes bedeutet. Dies ergiebt für:

$V : R$	$J : R = k$
$V : R = 0{,}8$	$J : R = k = 0{,}96$
1,0	1,00
1,2	1,04
1,4	1,09 u. s. f.

Schon Werner Siemens[2]) hat hervorgehoben, daß bei der Vergleichung namentlich verschiedenfarbiger Lichtquellen darauf Rücksicht zu nehmen sei, inwiefern dieselben geeignet seien, entfernte Gegenstände deutlich wahrnehmbar zu machen. Für künstliche Beleuchtung ist in der That diese Eigenschaft der Lichtquellen von größerem Interesse als jene andere, beleuchtete Flächen in gewisser Helligkeit erscheinen zu lassen. Seitdem ist von Crova und Lagarde[3]) eine Reihe von Messungen so ausgeführt worden, daß in dem Spalte des Spectroskopes eine feine Schraffirung angebracht war, welche erst bei bestimmter Helligkeit erkennbar wurde. Setzt man alsdann wieder die Intensität einer Farbe = 1, so lassen sich ebenso wie bei den Macé de Lépinay'schen Untersuchungen Coëfficienten angeben, welche ausdrücken, um wieviel die Stärke des unzerlegten einfallenden Lichtes vergrößert oder verkleinert werden muß, um für andere Farben jenes feine Gitter ebenso deutlich wahrnembar zu machen.

Wie bereits S. 347 erwähnt, stellt Weber durch Einschieben von mit rothem Kupferglas überfangenen Glastafeln eine gleichartige Beleuchtung des

[1]) Annal. d. Phys. (1877) 1, 351. — [2]) Annal. d. Phys. (1877) 2, 547. — [3]) Compt. rend. 93, 512.

Gesichtsfeldes her, wenn er elektrisches Licht oder Sonnenlicht messen will. Darnach wird bei Vergleichung zweier Lichtquellen verschiedener Farbe in der S. 347 angegebenen Weise zunächst das Verhältniß derjenigen Intensitäten $J_1^{(r)}$ und $J_2^{(r)}$ der beiden Lichtquellen ermittelt, welche den durch das rothe Glas hindurchgelassenen Strahlen entsprechen. Alsdann sind folgende zwei Versuche zu machen. Eine auf weißem Schirme angebrachte, etwa den Raum einiger Quadratcentimeter einnehmende Zeichnung, welche eine Reihe feiner Schraffirungen verschiedener Stärke oder eine Stufenfolge verschieden großer und verschieden leicht zu erkennender Schriftzeichen enthält, beleuchte man in sonst abgedunkeltem Zimmer lediglich durch die Lichtquelle 1. Man beobachte jene Zeichnung durch ein Fernrohr und ändere die Helligkeit der Beleuchtung so lange, bis eine bestimmte Art der genannten Schraffirungen oder Schriftzeichen gerade noch erkennbar ist, die nächst feinere dagegen nicht mehr. Gleichzeitig richte man den Tubus B des Apparates auf den durch die Zeichnung nicht wesentlich modificirten Schirm und stelle die Platten b (Fig. 246, S. 348) ein. Der Abstand zwischen a und b sei r_1, die Flammenhöhe l_1. Bei einem nun folgenden zweiten Versuch beleuchte man die Zeichnung lediglich durch die Lichtquelle 2, ändere die Stärke der Beleuchtung wieder so weit, daß dieselbe Art der Schraffirung wie vorher deutlich erkennbar ist, und stelle gleichzeitig den Apparat ein. Sind dann l_2 und r_2 die jetzt beobachteten Größen, so ist der Quotient:

$$k = \frac{\beta_2^{(r)}}{\beta_1^{(r)}} = \frac{i_1^{(r)}}{i_2^{(r)}} = \frac{r_2^2}{r_1^1}\,\frac{(a+bl_1)}{(a+bl_2)}.$$

Ist ferner das aus den beiden erstgenannten nach dem Verfahren I gemachten Versuchen ermittelte Verhältniß der Intensitäten der beiden Lichtquellen $J_2^{(r)}/J_1^{(r)}$, so wird das Verhältniß der Beleuchtungskräfte:

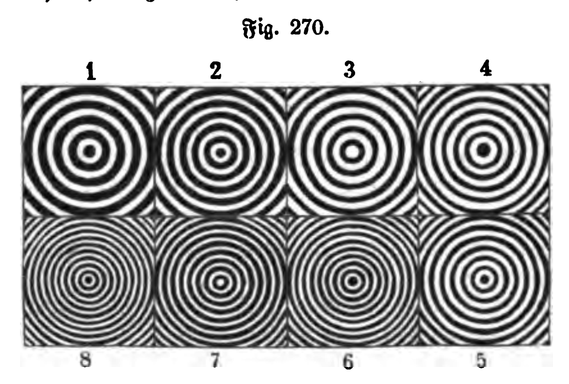
$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{J_2^{(r)}}{J_1^{(r)}}\cdot k$$

und ist also unabhängig von der Natur des in dem Apparate befindlichen rothen Glases.

Zur Bestimmung des physiologisch beeinflußten Factors k können auch bei b und p mit Zeichnungen versehene Milchglasplatten eingesetzt werden. Auf der Originalzeichnung betrug z. B. die Breite der Kreise der Reihenfolge der Zahlen nach 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25 und 20 mm, so daß in 20 facher Verkleinerung auf Milchglas photographirt die kleinsten Kreise im achten Felde der Platte 0,1 mm breit waren (Fig. 270). In das Photometer gebracht, füllten die 1 cm breiten und 2 cm langen Photogramme etwa den dritten Theil jeder Hälfte des Gesichtsfeldes aus, so daß noch eine beträchtliche Fläche übrig blieb, welche zur Einstellung auf gleiche Flächenhelligkeit benutzt werden konnte. Es wurde nun die Platte b auf diejenige ein- für allemal ermittelte Stelle geschoben, in welcher die Zeichnung auf derselben genau unter dem gleichen Gesichtswinkel erschien wie die in p befindliche Zeichnung. Diese Stelle lag bei 24,5 cm der an der Außenseite von A angebrachten, von a an gezählten Skala. In dieser Stellung müssen alsdann beide Zeichnungen von gleicher Deutlichkeit sein, falls die Flächenhelligkeit

in p und b die gleiche und von derselben Farbe ist. Wird dagegen das Rohr B auf eine anders gefärbte Lichtquelle gerichtet, also auch die Zeichnung bei p von diesem Lichte beschienen, so entspricht im Allgemeinen einer nach der Methode der Flächenhelligkeit etwa abgeschätzten, gleich hellen und nun ungleichfarbigen Beleuchtung nicht mehr gleiche Deutlichkeit der Zeichnungen. Es rührt dies davon her, daß, wie Lépinay nachgewiesen, die brechbareren Strahlen vom Grün an nur geringen Beitrag zur Beleuchtungskraft, wohl aber einen noch merklichen zur Flächenhelligkeit liefern.

Fig. 270.



Bei einer Untersuchung von Glühlampen wurde bei Stellung der Platte $b = 24{,}5$ cm p von der zu untersuchenden Lichtquelle beleuchtet. Die Entfernung der letzteren wurde durch Abrücken des Photometers so lange geändert, bis die beiden in gleicher Größe neben einander liegenden Zeichnungen von gleicher Deutlichkeit erschienen. Betrachtet man wiederholt abwechselnd beide Zeichnungen und läßt dabei das Auge von den gröbsten Kreisen nach den feineren wandern, so trifft man auf ein Quadrat, in welchem die einzelnen Kreise nicht mehr von einander zu trennen sind. Dies liefert bei einer der Zeit nach möglichst gleich vertheilten Betrachtung beider Zeichnungen ein recht brauchbares Kennzeichen der gleichen Deutlichkeit, welches namentlich unabhängig vom Auge ist. Nach Herstellung gleicher Deutlichkeit wurde sodann, ohne in der Stellung der Lichtquellen etwas zu ändern, dieselbe rothe Glasplatte, welche zur Bestimmung von J_r verwendet war, vor das Auge gebracht und nun ohne weitere Beachtung der Zeichnungen eine Einstellung auf gleiche Helligkeit gemacht. Bei solchen Lichtquellen, welche verhältnißmäßig weniger rothes und mehr gelbes Licht enthielten als die Benzinkerze a, war zu dem Zwecke ein größerer Abstand der Platte b von der Kerze a erforderlich. Beträgt derselbe r Centimeter, so ist $k = (r : 24{,}5)^2$. Bei 2 cm Flammenhöhe der Benzinkerze entspricht die Helligkeit des durchscheinenden Lichtes derjenigen, in welcher eine mit Barytweiß gestrichene Fläche erscheint, wenn dieselbe von 1,26 Walrathkerzen in 1 m Entfernung, oder von 1 Walrathkerze in 89 cm Entfernung beleuchtet wird. Hierbei konnten die Kreise der ersten 4 Felder noch ganz deutlich, diejenigen im 5. Felde ziemlich gut und diejenigen im 6. Felde nicht mehr mit dem Auge auflösen. Die Werthe von k

werden gleich 1, wenn die Farbe der untersuchten Lichtquelle derjenigen der Benzinkerze gleich wird. Dies kann direct im Photometer an der gleichen Färbung der beiden Hälften des Gesichtsfeldes erkannt werden, wenn ohne vorgesetztes rothes Glas beobachtet wird. Bei geringerer Stromstärke in den Glühlampen wird die linke Seite gelbröthlich bis braunroth, bei stärkerem Strome scheinbar umgekehrt die rechte Seite.

Um die Abhängigkeit der Werthe k von dem jeweiligen Glühgrade zu ermitteln, wurde eine zweite Einstellung auf Flächenhelligkeit mit vorgehaltenem grünem Glase gemacht. Mußte hierbei die Platte a in den Abstand d gebracht werden, so war das Verhältniß der Intensität des grünen Lichtes zu jener des rothen gegeben durch Grün : Roth $= (24{,}5)^2 : d^2$.

Durch spectroskopische Untersuchung wurde gefunden, daß durch das rothe Glas nur Strahlen zwischen den Wellenlängen $\lambda = 687$ und 630 hindurchgingen, deren größte Stärke mit der Fraunhofer'schen Linie C, $\lambda = 656$ zusammenfiel; die grünen Strahlen lagen zwischen $\lambda = 577$ und 516, namentlich bei 547. Gleichzeitig wurde von O. Schumann mittels des Glan'schen Spectrophotometers das Intensitätsverhältniß Grün : Roth bestimmt, für ein Roth von $\lambda = 676{,}2$ und ein Grün von $\lambda = 557{,}4$. Auch hier waren beide Intensitäten relative, auf die entsprechenden Farben der Benzinkerze bezogene. Aus diesen Versuchen ergeben sich folgende Mittelwerthe:

$\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$	k	$\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$	k	$\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$	k	$\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$	k
0,3	0,50	0,8	0,87	1,3	1,22	1,8	1,51
0,4	0,56	0,9	0,94	1,4	1,28	1,9	1,56
0,5	0,64	1,0	1,00	1,5	1,34	2,0	1,61
0,6	0,72	1,1	1,08	1,6	1,40	2,1	1,65
0,7	0,80	1,2	1,15	1,7	1,46	2,2	1,69

Für praktische Messungen ist die Beleuchtungskraft einer Glühlampe nach der Formel $B = k J_r$ zu berechnen, wobei J_r unter Einschaltung eines rothen Glases gemessen und k aus voriger Tabelle entnommen wird, nachdem durch eine zweite Intensitätsmessung mit grünem Glase das Verhältniß Grün : Roth bestimmt ist.

Bezügliche Versuche mit einer Swan-Lampe ergaben z. B.:

Anzahl der Bunsen	Verhältn. Grün/Roth (Gläser)	Verhältn. Grün/Roth (Glan)	k beobachtet	k berechnet	J_r beobachtet	$B = kJ_r$ [1]	J nach Lépinay
10	0,63	—	0,59	0,74	0,006	0,004	—
15	0,56	0,64	0,68	0,69	0,170	0,117	—
20	0,81	0,91	1,09	0,88	1,14	1,10	1,09
25	0,88	1,05	1,16	0,93	2,72	2,53	3,01
30	1,00	1,09	1,10	1,00	4,86	4,86	6,03
33	1,10	1,13	1,10	1,08	8,24	8,90	9,25
35	1,11	1,18	1,20	1,09	8,49	9,75	9,63
38	1,17	1,25	1,14	1,13	10,6	11,98	12,77
40	1,08	1,33	1,10	1,06	15,3	16,22	17,10

O. Schumann[2]) fand für eine Swan'sche Glühlampe:

Anzahl der Bunsen	Ampère	Volt	Ohm	Beob. Intensität $\lambda = 656$	Relative Intensitäten. Grün = 1.				
					Roth 676	Gelb 615	Blau 487	Indigo 464	Violett 429
0	—	—	65,4	—	—	—	—	—	—
15	0,627	23,79	37,9	0,17	1,55	1,31	—	—	—
20	0,850	30,48	35,9	1,14	1,10	1,06	0,89	—	—
25	1,028	34,87	33,9	2,72	0,95	1,03	1,06	—	—
30	1,146	39,13	34,1	4,86	0,92	1,02	1,08	—	—
33	1,251	42,30	33,8	8,24	0,87	0,97	1,14	—	—
33	1,188	40,43	34,0	—	0,90	1,02	1,12	—	—
35	1,244	41,81	33,6	8,49	0,85	0,97	1,14	1,22	—
38	1,336	43,88	32,8	10,6	0,80	0,94	1,14	1,22	1,30
40	1,398	45,23	32,3	15,3	0,75	0,90	1,15	1,24	1,34

Die Zahlen unter „Relative Intensitäten“ bedeuten, wie viel mal mehr Licht der betreffenden Farbe im elektrischen Lichte enthalten ist als in dem von der Benzinkerze ausgestrahlten Lichte, wenn jedesmal Grün ($\lambda = 557$) gleich hell gemacht wird, so daß die Zahlen unter Roth Ausdrücke für die Farben-

[1]) Oder die Stärke der Lampe müßte auf den Bruchtheil $1 : B$ reducirt werden, um schwarze, auf einer weißen Fläche befindliche Zeichnungen aus einer Entfernung von 89 cm ebenso deutlich wahrnehmbar zu machen, wie dies durch eine Walrathkerze in derselben Entfernung geschieht. — [2]) Elektrotechn. Zeitschr. 1884, *220.

zusammensetzung der betreffenden Lichtquelle darstellen. Je kleiner diese Zahlen werden, um so bläulicher wird die Farbe des elektrischen Glühlichtes im Vergleiche mit der des Benzinlichtes. Für Sonnenlicht würde dieses Verhältniß 0,22 werden. Es erreicht also das elektrische Glühlicht niemals die Farbe des Sonnenlichtes. Dieselben erscheinen vielmehr sämmtlich roth gegen dasselbe.

Für eine hellbrennende Erdöllampe (Doppelflachbrenner) wird Roth : Grün gleich 0,76. Es würde also die Farbe des Glühlichtes, sobald es sich in einem solchen Zustande des Glühens befindet, daß die Lampen voll ausgenutzt und doch nicht überanstrengt werden, gleich der einer gut brennenden Erdöllampe zu setzen sein. Dasselbe Ergebniß findet man bei Betrachtung der Zahlen Indigo : Grün. Für die Sonne ist dieses Verhältniß 4,35 und für Erdöl 1,24. Gaslicht im gewöhnlichen Brenner erscheint erheblich röther.

In nachfolgender Zusammenstellung von W. H. Pickering[1]) enthalten die vier ersten Reihen die Helligkeit der einzelnen Stellen des Spectrums, die des Gelb (D) gleich 100 gesetzt, ferner die Gesammthelligkeit T in Einheiten einer Normalkerze und endlich die Helligkeit des hellsten Theiles J in Einheiten des hellsten Theiles des Argandbrenners, bezogen auf gleiche Flächen. Das Magnesiumlicht wurde erzeugt durch gleichzeitiges Verbrennen zweier Spiralen von Magnesiumdraht, das elektrische Licht mit 40 Grove'schen Elementen. Die relativen Helligkeitsbestimmungen am Mond wurden, als er 10 Tage alt war, angestellt, die gesammte Helligkeit wurde dagegen beim Vollmond bestimmt, und zwar mit dem Bunsen'schen Photometer, ebenso wie die an der Sonne:

	C	D	b'	$F\,{}^1\!/_2\,G$	T	J
Normalkerze	73	100	104	134	1	1
Gaslampe	74	100	103	125	16	1
Kalklicht	59	100	113	285	90	54
Elektrisches Licht	61	100	121	735	362	3141
Magnesiumlicht	50	100	223	1129	215	20,8
Mondlicht	87	100	155	363	204	—
Sonnenlicht	45	100	250	2971	70 000	361 000

Pickering sucht aus obigen Zahlen nachzuweisen, daß die Sonnentemperatur etwa 22 000° beträgt (vergl. S. 326).

O. E. Meyer[3]) giebt folgende Verhältnißzahlen über die Farbe des elektrischen und Sonnenlichtes (vergl. S. 104):

[1]) Proc. of Ac. of Arts and Sc. 1880, 236; Beibl. z. d. Annal. d. Phys. 1881, 729. — [3]) Centralbl. f. Elektrotechn. 1883, 458; Zeitschr. f. angew. Elektricitätslehre 1, 320.

	Glühlampe / Sonne	Bogenlicht / Sonne
Roth	1,48	2,09
Gelb	1,00	1,00
Grün	0,62	0,99
Blaugrün	0,29	—
Blau	0,21	0,87
Violett	0,17	1,03
Aeußerstes Violett . . .	—	1,21

In nachfolgender Zusammenstellung zeigt die erste Reihe das Ergebniß der Messungen durch G. Müller[1]) vom Sonnenlicht (bei einer Zenithentfernung von 45°) gegen Erdölflammen. Die zweite Reihe ist von Schumann[2]) durch Vergleichung einer Benzinkerze mit einem Erdöl-Doppelflachbrenner gefunden worden. Die dritte Reihe ist das Product der bezw. Zahlen der beiden ersten; die letzte H giebt die Helligkeiten der verschiedenen Lichtarten in einer Benzinkerze, bezogen auf $\lambda = 656$, als Einheit.

λ =	676	656	615	557	487	464	429
Sonne : Erdöl . . . . . . =	0,75	1,00	1,44	2,53	6,03	8,89	15,83
Erdöl : Benzin . . . . . . =	0,95	1,00	1,10	1,27	1,49	1,57	1,58
Sonne : Benzin . . . . . =	0,71	1,00	1,58	3,21	8,98	13,96	25,01
H . . . . . . =	0,260	1,00	5,26	4,78	0,154	0,033	0,0037

A. Crova[3]) giebt folgende Verhältnißzahlen:

Wellenlänge	676	605	560	523	486	459
Bogenlicht	1000	707	597	506	309	228
Carcellampe	1000	442	296	100	80	27

Crova und Lagarde[4]) stellten für die verschiedenen Wellenlängen folgende Werthe auf:

[1]) Astronom. Nachrichten 103, 241; derselbe beschreibt die photometrische Untersuchung des Lichtes der Planeten und dergleichen in G. Müller's Photometrische Untersuchungen (Potsdam 1883). — [2]) Elektrotechn. Zeitschr. 1884, 226. — [3]) Compt. rend. 87, 322; 90, 322; Ann. chim. phys. (1885) 6, 528. — [4]) Annal. de chim. et de phys. 1881; Compt. rend. 93, 512 et 959.

Wellenlänge		680	660	640	620	600	580	560	540	520	500	480
Leuchtkraft	Carcellampe	5,7	14,0	28,0	52,5	94,0	72,5	37,5	23,5	13,0	6,0	1,0
	Sonne	0,5	1,5	4,0	10,2	23,0	62,5	98,5	30,5	17,2	9,2	3,5

H. C. Vogel[1]) fand für das elektrische Licht im Vergleich mit einer Erdölflamme:

Wellenlänge	633	600	555	517	486	464	444	426
Elektrisches Licht	0,53	0,67	1,00	1,57	2,33	3,12	4,00	5,00

O. N. Rood[2]) steckte zur Vergleichung verschiedenfarbenen Lichtes auf eine Achse eine rothe und eine aus schwarzen und weißen Sectoren bestehende Scheibe, welche rasch gedreht wurde. Er fand ferner mit dem Vierordt'schen Apparat in 1000 Thln. weißen Lichtes: 54 Thle. roth, 140 orange-roth, 80 orange, 140 orange-gelb, 54 gelb, 206 gelb-grün, 121 grün-gelb, 134 grün und blau-grün, 32 cyanblau, 40 blau, 20 ultramarin und blau-violett, 5 violett.

Glanz des Lichtes. Nach Voit (vergl. Jahresber. 1883, 1643) beträgt die Lichtstärke für 1 Quadratcentimeter Oberfläche:

Einlochbrenner	etwa 0,06	Kerzen
Argandbrenner	0,30	"
kleinen Siemensbrenner	0,38	"
großen "	0,60	"
Glühlampen	40,00	"
Bogenlampen	484,00	"

Die von der Flächeneinheit der verschiedenen Lichtquellen ausgesandte Lichtmenge, d. h. ihr Glanz ist somit sehr verschieden.

Renk[3]) macht für Glühlicht auf das Reflexbild des Kohlenfadens aufmerksam, so daß auf 1 Quadratcentimeter leuchtende Fläche nur 24 Kerzen kommen.

Die Sonnenstrahlen, welche durch eine Oeffnung von 0,9 Millimeter Durchmesser gingen, entsprachen nach W. Thomson[4]) 126 Kerzen, entsprechend fast 20 000 auf 1 Quadratcentimeter[5]). Mondlicht gleicht der Beleuchtung von einer Normalkerze in 2,3 Meter Entfernung.

Beurtheilung von Beleuchtungsanlagen. Für die Beurtheilung von Beleuchtungsanlagen kommt es weniger darauf an, wieviel Normalkerzen die Flammen haben, als auf die Lichtmenge, welche auf den Arbeitsplatz, den

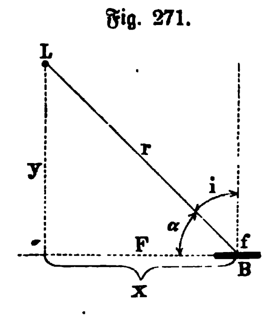
[1]) Berl. Mon. Ber. 1880, 801. — [2]) Sill. J. 1878, 81; Beiblätter 1879, 805. — [3]) Archiv f. Hygiene 1885, 33. — [4]) Engineering 1882, 891; Elektrotechn. Zeitschr. 1883, 136. — [5]) Nach Versuchen von Crova (Compt. rend. [1883] 96, 124) betrug die Leuchtkraft der Sonne am 31. October 1882 7870 Carcel, am 3. November 7320 und am 8. December 5100, während sie für vollkommen reinen Himmel 8500 Carcel entspricht.

Schreibtisch und dergleichen fällt. Nach Versuchen von H. L. Cohn[1]) ist z. B. für einen zum Lesen oder Schreiben benutzten Arbeitsplatz eine Helligkeit von mindestens 10 Meterkerzen[2]) erforderlich, d. h. die von den Lichtquellen auf jenen Tischplatz geworfene Lichtmenge (sogenannte indicirte Helligkeit) soll soviel betragen, wie 10 Normalkerzen bei senkrechter Gegenüberstellung aus 1 Meter Entfernung hergeben würden.

Die Berechnung, wie groß die Helligkeit ist, welche von Lampen bekannter Leuchtkraft und Lichtvertheilung für Plätze in gegebener Lage geliefert werden, geschieht nun nach Weber[3]) in folgender Weise:

An der Stelle L (Fig. 271) sei eine Lampe befindlich, von welcher das ebene Flächenstück F beleuchtet ist. Im Allgemeinen und streng genommen wird alsdann die für F indicirte Helligkeit oder die auf jedes kleinste Flächenelement fallende Lichtmenge von Punkt zu Punkt verschieden sein. Nimmt man jedoch die Ausdehnungen des Flächenstückes so klein gegen die Entfernung r von der Lampe, daß kein merklicher Unterschied der Helligkeit auf den einzelnen Stellen von F entsteht, so kann man von einer mittleren Helligkeit der Fläche und in aller Strenge auch bei beliebig kleinem r von der für den etwa in der Mitte der beleuchteten Fläche gelegenen Punkt B indicirten Helligkeit oder von der auf ein unendlich kleines, bei B liegendes Flächenelement f fallenden Lichtmenge sprechen. Bezeichnet man diese Lichtmenge mit Q, so ist:

Fig. 271.



$$Q = (Jf \sin\alpha) : r^2.$$

Hierin bezeichnet J die für die Richtung LB gültige Intensität der Lampe, d. h. diejenige Anzahl von Normalkerzen (Lichteinheiten), welche an Stelle der Lampe gesetzt werden müßten, um nach der Richtung LB dieselbe Lichtmenge auszusenden; ferner ist α der Höhenwinkel der Lampe über der Fläche f, so daß $\sin\alpha = \cos i$, wenn i den Incidenzwinkel des einfallenden Lichtes bezeichnet. f ist der Flächeninhalt des Flächenelementes f. Um sich von der letzteren, für die Helligkeit in B unwesentlichen Größe freizumachen, kann man statt der obigen Formel auch die folgende setzen:

$$H = (J \cdot \sin\alpha) : r^2,$$

worin H die (indicirte) Helligkeit für ein beim Punkte B und in der Ebene F liegendes unendlich kleines Flächenelement f bedeutet. Der für H gefundenen Zahl liegt als Einheit die Meternormalkerze zu Grunde, falls man r nach Meter und J nach Normalkerzen ausmißt. Es würde z. B. für den Fall, daß 1 Normalkerze in 1 m Entfernung senkrecht die Fläche f beleuchtete, $\sin\alpha = 1$, $J = 1$, $r^2 = 1$, also $H = 1$ werden. Diese Helligkeit, welche als die von der Lampe L

---

[1]) Cohn: Ueber den Beleuchtungswerth der Lampenglocken (Wiesbaden 1885). — [2]) Weniger gut ist der Vorschlag von Wybauw (vergl. S. 379) als Einheit der Beleuchtung $1/_{10}$ der Helligkeit eines Carcelbrenners in 1 Meter Entfernung unter der Bezeichnung „lux" einzuführen. — [3]) Elektrotechn. Zeitschr. 1885, 24 u. *56.

für den Punkt B und die Ebene F indicirte bezeichnet werden möge (nach Lambert „illuminatio"), ist nicht zu verwechseln mit derjenigen Helligkeit (der „claritas visa" Lambert's), welche einem an der Stelle von B befindlichen Gegenstande, z. B. einer Papierfläche, insofern ertheilt wird, als man dasselbe wiederum als selbstleuchtendes oder beleuchtendes betrachten kann. Diese Helligkeit ist allerdings der früheren proportional, aber in ihrem Formelausdrucke noch wesentlich abhängig von der physikalischen Beschaffenheit des Objectes, von seiner Reflexionsfähigkeit.

Die zweite Formel setzt die Ausmessung des Winkels α und der Entfernung r voraus; in der Praxis wird es jedoch meist bequemer sein, dafür die lothrechten und wagerechten Abstände y und x des Punktes B von L auszumessen. Es wird dann $\sin \alpha = y : r$ und $r^2 = (x^2 + y^2)$; mithin erhält man zur Ausrechnung:

$$H = (J y) : \left[(x^2 + y^2)\sqrt{x^2 + y^2}\right].$$

Zur weiteren Erklärung dieser Formeln dienen folgende Beispiele.

Beispiel 1: Von einer Glühlampe sei ermittelt, daß dieselbe nach wagerechter Richtung bei gewisser Stromstärke eine Intensität von 32 Normalkerzen besitze. Man habe ferner gefunden, daß ihre Emission unter den von der Horizontalebene an gerechneten Winkeln:

$$22{,}5^0 \qquad 45^0 \qquad 67{,}5^0 \qquad 90^0$$

bezw.

$$0{,}951, \qquad 0{,}850, \qquad 0{,}707, \qquad 0{,}810$$

des für die wagerechte Richtung geltenden Werthes betrage, also:

$$0{,}951 \times 32 \qquad 0{,}850 \times 32 \qquad 0{,}707 \times 32 \qquad 0{,}810 \times 32$$

oder

$$30{,}43 \qquad 27{,}20 \qquad 22{,}62 \qquad 25{,}92.$$

Diese Lampe sei über einer Tischfläche bei L angebracht; man wünscht die für den Punkt B und ein in die Ebene der Tischfläche fallendes, daselbst befindliches Flächenelement indicirte Helligkeit H, nach Meterkerzen ausgedrückt, zu kennen.

Nehmen wir an, daß kein passendes Instrument zur Stelle sei, um sofort den Winkel α der Linie LB gegen die Tischfläche in Graden zu messen. Alsdann mißt man den lothrechten Abstand y etwa $= 0{,}80$ m, den wagerechten Abstand x etwa $= 0{,}67$. Hieraus berechnet sich:

$$r^2 = 0{,}67^2 + 0{,}80^2 = 0{,}4489 + 0{,}6400 = 1{,}0889,$$

oder

$$r = 1{,}044 \text{ und } \sin \alpha = 0{,}80 : 1{,}044 = 0{,}7667,$$

woraus α ziemlich nahe $= 50^0$ folgt. Dieser Winkel liegt zwischen den Winkeln 45^0 und $67{,}5^0$, für welche die Emission untersucht ist und 27,20 bezw. 22,62 beträgt. Begnügt man sich mit jenen vier die Emissionsverhältnisse darstellenden Zahlen, so würde man daraus durch Interpolation für 50^0 die Zahl 26,2 gewinnen. Die für die Helligkeit des Platzes B in Betracht kommende Intensität J der Lampe ist also 26,2 Normalkerzen, demnach zu Folge der zweiten Formel:

$$H = (26{,}2 \times 0{,}7667) : 1{,}0889 = 18{,}45 \text{ Meterkerzen.}$$

Beispiel 2: Es sei eine Lampe gegeben, deren Emission nach allen Richtungen als gleich groß und zwar von der Intensität 10 Normalkerzen angenommen werde. Die Lampe befindet sich 0,4 m oberhalb einer Tischfläche. Wie groß ist H für ein 0,3 m seitlich gelegenes Flächenelement? Die Zahlen sind in diesem Beispiele möglichst bequem zur Rechnung gewählt. Nach der dritten Formel wird:

$$H = (10 \times 0{,}4) : (0{,}4^2 + 0{,}3^2)\sqrt{0{,}4^2 + 0{,}3^2} = 4 : 0{,}25\sqrt{0{,}25} = 32 \text{ Meterkerzen.}$$

Statt H zu berechnen, sind für praktische Zwecke hinreichend genau derartige Aufgaben mit der Curventafel (Fig. 272 a. f. S.) zu lösen. Derselben liegt die Annahme zu Grunde, daß sich im Punkt L eine Lichtquelle befinde, deren Emission nach allen Richtungen dieselbe sei und welche die Intensität $J = 100$ Normalkerzen habe. Durch L-X sei die Horizontalebene, durch L-Y die darauf senkrechte vertikale Linie bezeichnet. Denkt man sich alsdann ein in seiner Lage variables, immer parallel mit sich verschobenes horizontales Flächenelement in alle diejenigen Lagen gebracht, in denen es die gleichen Lichtmengen von L erhält, in denen also, anders ausgedrückt, die für dasselbe von L indicirten Helligkeiten dieselben sind, so erkennt man leicht, daß alle diese Stellen auf einer Rotationsfläche liegen müssen, deren Rotationsachse die L-Y-Linie ist. Zur Darstellung einer solchen Fläche genügt demnach ihre Durchschnittscurve mit einer durch L-Y begrenzten Verticalebene. Die so entstandene Curve würde also vervollständigt werden, indem man auch auf der anderen Seite von L-Y einen symmetrischen Curvenast zeichnet, der sich mit dem auf der Tafel vorhandenen zu einem Oval vereinigen und durch eine auch oberhalb der L-X-Ebene ausgeführte entsprechende Construction zu einer lemniskatenähnlichen oder 8-förmigen Curve zusammensetzen würde. Jede der auf der Tafel gezeichneten Curven ist der vierte Theil einer solchen vollständigen Curve und durch die Gleichung gewonnen:

$$H = (J \cdot \sin \alpha) : r^2.$$

Setzt man hierin nämlich $J = 100$ und giebt H einen willkürlichen Werth, z. B. 20, und denkt man sich von L einen Leitstrahl nach den verschiedensten Richtungen unter den Winkeln α mit der Horizontalebene gezogen, und macht man die Länge r dieses Strahles der vorstehenden Gleichung entsprechend, so treffen die Endpunkte dieser Leitstrahlen die mit 20 bezeichnete Curve, d. h. alle diejenigen Stellen, in welchen ein horizontales Flächenelement durch die in L befindliche Lichtquelle 100 die Helligkeit von 20 Meterkerzen erhält. In rechtwinkeligen Coordinaten ausgedrückt, ist die Gleichung derselben Curve:

$$20 = (100 \cdot y) : (x^2 + y^2) \sqrt{x^2 + y^2}$$

oder:

$$(20 : 100)^2 \cdot (x^2 + y^2)^3 = y^2$$

oder allgemein:

$$C(x^2 + y^2)^3 - y^2 = 0,$$

wenn C die für jede Curve constante Zahl $(H : J)^2$ ist. Die Auflösung nach x ergiebt:

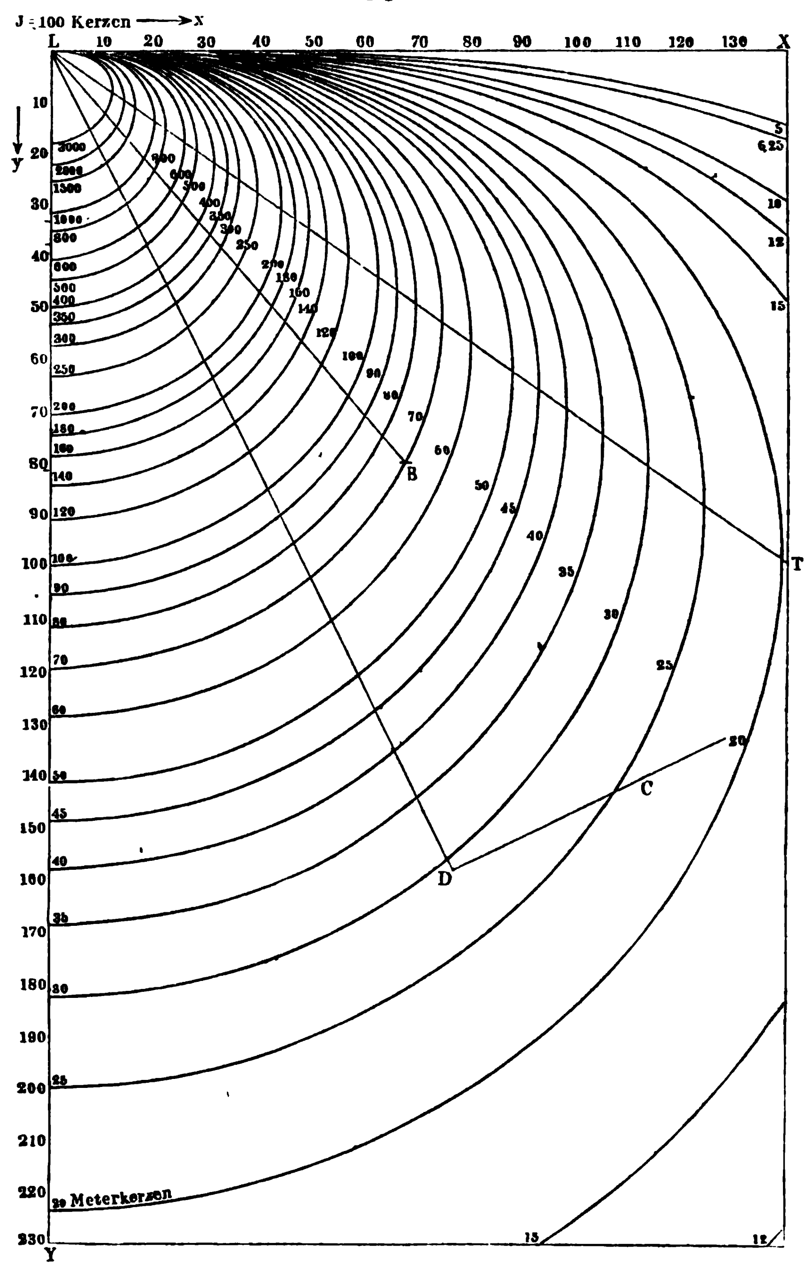
$$x^2 = K y^{2/3} - y^2,$$

worin K eine andere Constante, nämlich $= (J : H)^{2/3}$ ist. Nach dieser letzteren Gleichung sind in der That die einzelnen mit 20, 25, 30 .... bezeichneten Curven construirt, indem darin der Reihe nach

$$K = (100 : 20)^{2/3},\ (100 : 25)^{2/3},\ (100 : 30)^{2/3}, \ldots.$$

gesetzt wurde und für verschiedene in metrischem Maaße gemessene verticale Abstände y die zugehörigen Werthe von x berechnet wurden.

Fig. 272.



Die Curven der Tafel durchschneiden die verticale L-Y sowohl bei L, als auch in dem tiefsten Punkte rechtwinkelig. Ihre größte Weite in horizontaler Richtung erreichen sie auf einer von L ausgehenden Linie L-T, welche mit der Horizontalen einen Winkel von $35^0\,15'\,52''$ bildet, oder für welche $tg\,\alpha = \sqrt{1/2}$, d. h. in Punkten, für welche sich der verticale Abstand zum horizontalen verhält wie 0,707 11 : 1.

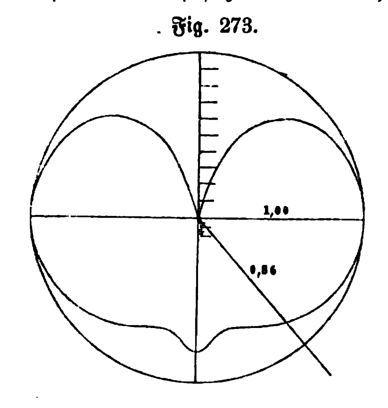
Diese letztere Beziehung ist technisch insofern von Wichtigkeit, als man daraus unmittelbar erfährt, welche senkrechte Erhebung man am vortheilhaftesten einer Lampe über einer zu beleuchtenden horizontalen Fläche geben muß, wenn der seitliche Abstand vorgeschrieben ist. Verfolgt man z. B. die Verticale 0,8 m, so gelangt man zu dem bei $y = 5{,}6$ gelegenen Schnittpunkte mit L-T, in welchem die verfolgte Verticale die Curve 60 trifft. Für diese Stelle ist also die Helligkeit 60, und man sieht, daß man bei unverändertem seitlichen Abstande sowohl für ein kleineres als für ein größeres y zu Curven kleinerer Helligkeit gelangen würde.

Aufgabe 1. In L ist eine Lichtquelle gegeben, welche nach allen Seiten gleichmäßig Licht aussendet und deren Intensität = 100 Normalkerzen ist. Wie groß ist die Helligkeit für ein in B gelegenes horizontales Flächenelement, welches 0,80 m unterhalb und 0,67 m seitlich von L liegt ($y = 0{,}80$; $x = 0{,}67$)? Man sucht den entsprechenden Punkt mit Hülfe des Millimeternetzes auf und findet unmittelbar, daß B nahezu auf der Curve 70 liegt, d. h. die Helligkeit in B beträgt 70 Meterkerzen. — Hat die Lichtquelle in L nur 25 Kerzen, so erhält man für B natürlich

$$70 \times 25 : 100 = 17{,}5 \text{ Meterkerzen.}$$

Aufgabe 2. In L ist eine nach verschiedenen Richtungen verschieden stark Licht aussendende Lampe, z. B. eine Glühlampe, gegeben. Die Intensität derselben in horizontaler Richtung betrage 32 Normalkerzen. Man wisse ferner, daß die Lichtvertheilung nach verschiedenen Richtungen eines Verticalschnittes durch eine in beliebigem Maaßstabe gezeichnete Curve etwa wie in Fig. 273 dargestellt werde. Wie groß ist die Helligkeit für ein horizontales Flächenelement in B? Man zeichnet die Lichtvertheilungscurve auf durchscheinendes Papier, markirt darauf die Vertical- und Horizontallinie und legt diese Zeichnung auf die Curventafel. Alsdann sucht man auf Fig. 272 den Punkt B, markirt die Linie L-B auf Fig. 273 und ermittelt entweder mit Hülfe eines besonderen kleinen Maaßstabes wie in Fig. 273 oder durch directe Ausmessung mit dem Zirkel das Verhältniß des in der Richtung L-B in Fig. 273 gezogenen Radius zu dem horizontalen Radius in Fig. 273. In dem Falle der letzteren Figur ist dies Verhältniß 0,86, d. h. die für die Richtung L-B gültige Intensität der Lampe ist $32 \times 0{,}86$ Normalkerzen. Mit dieser Zahl multiplicirt man die bei B gefundene Curvenzahl 70 und erhält

Fig. 273.



$$H = (32 \times 0{,}86 \times 70) : 100 = 19{,}40 \text{ Meterkerzen.}$$

Das hier gewonnene Resultat deckt sich mit dem aus im Wesentlichen gleichen Voraussetzungen berechneten 18,45 im Beispiel 1 nicht vollständig. Es liegt das nicht etwa

an einer Ungenauigkeit der gezeichneten Helligkeitscurven, sondern daran, daß in der Fig. 273 die Lichtvertheilungscurve gerade für die Richtung L-B eine Convexität zeigt, die ihren Ausdruck in den wenigen zur Interpolation benutzten Zahlen nicht gefunden hat.

Aufgabe 3. In L ist eine gleichmäßig nach allen Seiten Licht aussendende Lampe von der Intensität $J = 100$ Normalkerzen gegeben. In dem Punkte $C (y = 1{,}40\,m$; $x = 1{,}126\,m)$ befinde sich ein schräg gegen die Horizontale geneigtes Flächenelement. Wie groß ist die für C indicirte Helligkeit? Die Lage des Flächenelementes sei dabei entweder direct graphisch markirt oder sie sei angegeben durch die Steigung, z. B. wie im Falle der Zeichnung: 5 : 10.

Man mache alsdann folgende Construction: Von L aus werde auf die durch C gehende, die Lage des Flächenelementes markirende Linie C-D das Loth L-D gefällt. Man messe LD und CD, setze $LD = y$ und $CD = x$. Im vorliegenden Falle findet man $y = 1{,}765\,m$ und $x = 0{,}40\,m$. Nun sucht man den Schnitt der beiden Linien des Millimeternetzes 1,765 und 0,40 und findet denselben nahezu auf der Curve 30 liegen, d. h. es ist $H = 30$ Meterkerzen.

Die hierzu erforderlich gewesene Construction läßt sich einerseits, was die Lage des Flächenelementes betrifft, mit Hülfe des Millimeternetzes, andererseits, was die Construction des rechtwinkeligen Dreiecks LDC betrifft, durch ein Winkelmaaß mit in Millimeter getheilten Schenkeln sehr leicht ausführen, wie das kaum genauer beschrieben zu werden braucht.

Zur Berechnung der Vertheilung der Beleuchtung bezeichnet J. Wybauw[1]) die Höhe der Lichtquelle L über der Ebene mit h (vergl. Fig. 271), und ähnlich wie Uppenborn[2]) die Stärke der Beleuchtung des Punktes f:

$$B = \frac{J \sin\alpha}{h^2 + x^2} = \frac{J \cos\alpha^2 \sin\alpha}{x^2} \text{ entsprechend } = \frac{Jh}{(h^2 + x^2)\sqrt{h^2 + x^2}}$$

nach Weber (vergl. S. 373). Der Werth B ist $= 0$ für $\alpha = 0$ und $\alpha = 90^0$, d. h. für $h = 0$ und für $h = \infty$. Zwischen diesen beiden Werthen giebt es einen Höchstwerth, welcher sich durch Differentiation nach der Größe α (x = Const.) ergiebt. Aus $\frac{J \cos\alpha}{x^2}(3 \cos\alpha^2 - 2) = 0$ folgt $\cos\alpha = \sqrt{{}^3/_2}$, $\alpha = 35^0\,16'$ und $h = x\,tg\,\alpha = 0{,}707\,x$. Macht man die Höhe h der Lichtquelle L also $= 0{,}707$ der Entfernung des Punktes m vom Fußpunkte der Lichtquelle, so erhält m die stärkstmögliche Beleuchtung (vergl. S. 375).

Es soll nun die gesammte Beleuchtung einer wagerechten Ebene berechnet werden. Es sei zuerst ein Ring betrachtet, dessen Mittelpunkt im Fußpunkte der Lichtquelle liegt und welcher zwischen zwei Kreisen mit den Radien x und $x + dx$ eingeschlossen ist. Die Oberfläche dieses Ringes ist, wenn man $(dx)^2$ vernachlässigt, $2\pi x dx$ und die Stärke der Beleuchtung

$$B = 2\pi x \frac{J \sin\alpha}{h^2 + x^2} dx = 2\pi J h \frac{x\,dx}{(h^2 + x^2)^{3}/_{2}}.$$

Die Beleuchtung eines vollen Kreises vom Radius x wird danach sein:

$$B = \int_0^x 2\pi J h \frac{x\,dx}{(h^2 + x^2)^{2}/_{3}}.$$

---

[1]) Bullet. de la Soc. belge d'électric. (1885) 2, Nr. 4; Journ. f. Gasbel. 1886, 66. — [2]) Zeitschr. f. angew. Elektricit. 1880, 384; 1881, 244.

Für $x = 0$ wird $B = 0$ und die Integration ergiebt

$$B = 2\pi J h \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{h^2 + x^2}}\right).$$

Dies ist die gesammte Lichtmenge, welche ein wagerechter Kreis vom Radius x empfängt von einer Lichtquelle, deren Intensität J und welche sich in der Höhe h senkrecht über dem Mittelpunkte des Kreises befindet. Aus Betrachtung dieser Gleichung ergiebt sich zuerst, daß für $x = \infty$, $B = 2\pi J$ wird; h verschwindet aus der Formel und man sieht, daß die Gesammtbeleuchtung einer unendlich großen Ebene einfach proportional der Lichtquelle und unabhängig von der Höhe der Lichtquelle über der Ebene ist. Die Hälfte der Gesammtbeleuchtung der unendlichen Ebene, also πJ, entsteht, wenn $x = h\sqrt{3} = 1{,}73\,h$ ist, sie fällt auf die Basis eines Kegels, dessen Seite 30^0 gegen die Wagerechte geneigt ist. Für $x = h$, also für den Lichtkegel von 90^0, wird $B = 1{,}84\,J$.

Die größte Wirkung der Beleuchtung in der Entfernung $x = h : 0{,}707$ vom Fußpunkte der Lichtquelle, nach Wybauw die vollständige Nutzwirkung derselben, wird größer sein als die gesammte Lichtmenge, welche eine wagerechte Ebene empfängt. Man erhält sie, wenn man $\alpha = 90^0$ setzt:

$$B' = \pi J \log nat \frac{h^2 + x^2}{h^2} = 7{,}234\, J \log \frac{h^2 + x^2}{h^2}.$$

Diese zweite Gleichung ergiebt die vollständige Nutzwirkung einer Beleuchtung in allen Punkten einer materiellen Ebene.

Einige besondere Werthe von B' sind noch die folgenden:

Für $x = 0{,}6124\,h$ wird $B' = J$,
„ $x = h$ „ $= 2{,}177\,J$,
„ $x = h\sqrt{3}$ „ $= 4{,}354\,J$,
„ $x = 1{,}3115\,h$ „ $= \pi J$;

die äußersten Strahlen treffen im letzten Falle die Ebene unter dem Winkel $52^0\,40'$, während bei $B = \pi J$ (erste Gleichung) dieser Winkel $= 60^0$ ist.

Die zweite Gleichung für B' wird stets in der Praxis anzuwenden sein, wenn man die Wirkungen mehrerer Beleuchtungsanlagen mit einander vergleichen will. Zu diesem Zwecke wird die Anzahl Meterkerzen bestimmt, welche auf jedes Element der zu beleuchtenden Fläche fallen, jedoch, wie bereits Crompton (1880) vorschlug, diese Fläche stets normal zu den darauf fallenden Lichtstrahlen gedacht; die Summe des Inhaltes dieser Elemente, multiplicirt mit den betreffenden Beleuchtungsintensitäten, würde die Gesammtleistung für die betrachtete Fläche sein. Die zweite Gleichung giebt nun für B' die Summe dieser Nutzwirkungen für eine Kreisfläche vom Radius x, wenn senkrecht über dem Mittelpunkte in einer Höhe h sich eine Lichtquelle von der Helligkeit J befindet.

Den Ausdruck für B' nennt Wybauw das Beleuchtungsvolumen. Die Formel

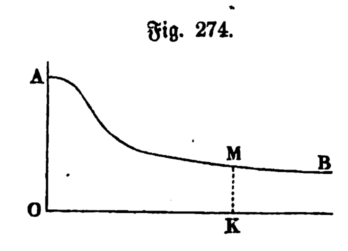
$$B' = 2\pi J \int_0^x \frac{x\,dx}{h^2 + x^2}$$

stellt folgendes Volumen dar: Macht man

$$OK = x,\ KM \perp OK \text{ und } KM = J:(h^2 + x^2),$$

so bilden die Punkte M für alle Werthe von x eine Curve von der Form AMB. Befindet sich in dem Punkte K der Horizontalebene das zwischen den Kreisumfängen von den Radien x und $x + dx$ gelegene Element $dx\,ds$, so ist das Volumen des Prisma, dessen Basis $dx\,ds$ und dessen Höhe KM ist, $= J:(h^2 + x^2)\,dx\,ds$ und das Volumen des Cylinders, welcher den ganzen Ring zur Basis hat, $= 2\pi J(x\,dx):(h^2 + x^2)$; endlich ist das Integral

Fig. 274.



$$2\pi J \int_0^x \frac{x\,d\alpha}{h^2 + x^2}$$

das Volumen des Revolutionskörpers (um die Ordinatenachse OJ), welcher eingeschlossen wird von der Oberfläche $AMKO$.

Die Größe des in Betracht kommenden Unterschiedes in der Stärke der Beleuchtung hängt von der Höhe h der Lichtquelle über der zu beleuchtenden Fläche ab. Diese Höhe ist besonders von Wichtigkeit für die starken elektrischen Bogenlichter, bei welchen die Helligkeit am Fuße der Stangen oder Masten, welche sie tragen, stets bei weitem die zu machenden Ansprüche übertrifft, so daß man sein Augenmerk nur auf die Stärke der Beleuchtung in einiger Entfernung zu richten hat. Ein Bogenlicht von 1000 Kerzen Helligkeit liefert bei einer Höhe von 8 m an seinem Fuße eine Stärke der Beleuchtung von 15,6 Meterkerzen, in 30 m Entfernung von diesem Fußpunkte eine solche von 1,04 Meterkerzen. Bei 16 m Höhe ist die Beleuchtung an diesen beiden Punkten 3,6 und 0,9 Meterkerzen stark. Während also in 30 m Entfernung die Stärke der Beleuchtung sich in kaum wahrnehmbarer Weise ändert, ist sie auf der ganzen beleuchteten Fläche bedeutend gleichmäßiger geworden bei Erhöhung der Lampe von 8 auf 16 m. Außerdem ist die Möglichkeit des Blendens dadurch bedeutend verringert. Es ist also bei 8 m Höhe der Lampe in der Nähe der Lampe ein unnützer Ueberfluß an Helligkeit vorhanden, welcher der Gleichmäßigkeit der Beleuchtung schadet.

Dieser Ueberfluß der Beleuchtung in der Nähe der Lichtquellen ist ein Umstand, welchen man beim Vergleiche zweier Beleuchtungsanlagen nicht aus dem Auge lassen sollte. Die Gleichung für B' giebt die ganze Nutzwirkung einschließlich obigen Ueberflusses und es fragt sich, ob es nicht besser sein dürfte, in die Rechnung aus obigem Grunde eine Berichtigung einzuführen. Zu diesem Zwecke müßte man zuerst festsetzen, über welche Beleuchtungsstärke hinaus eine Beleuchtung als überflüssig zu bezeichnen ist.

Setzt man diese Grenze $= n$ Meterkerzen, so erhält man den Radius x des Kreises, welcher die überflüssige Beleuchtung einschließt, aus der Gleichung:

$$J:(h^2 + x^2) = n, \text{ woraus } x = \sqrt{(J:n) - h^2}$$

wird. Nach der Gleichung für B' ist die ganze Beleuchtung im Inneren dieses Kreises, wenn man für x vorstehenden Werth setzt: $B' = \pi J \log nat\,(J:n\,h^2)$.

Hiervon muß abgezogen werden die Beleuchtung von n Meterkerzen der Oberfläche des Kreises $\pi[(J:n) - h^2]$, nämlich $\pi(J - nh^2)$, so daß die Größe der überflüssigen Beleuchtung wird:

$$U = \pi J \log nat (J:nh^2) - \pi(J - nh^2).$$

Subtrahirt man U von B', so erhält man:

$$B'' = \pi J[\log nat(h^2 + x^2):h^2 - \log nat(J:nh^2)] + \pi(J - nh^2)$$
$$= \pi J \log nat\, n(h^2 + x^2):J + \pi(J - nh^2)$$

oder

$$= 7{,}234 \log n(h^2 + x^2):J + \pi(J - nh^2).$$

Giebt man n einen bestimmten Werth, also für öffentliche Beleuchtung nach Wybauw's Vorschlag etwa den Werth 10 (Meterkerzen), so ergiebt diese Gleichung für B'' die wirklich nützliche Beleuchtungswirkung in des Wortes wahrster Bedeutung.

Ist der Radius x eines zu beleuchtenden Kreises gegeben, so erhält man die Höhe h, für welche diese Nutzwirkung ein Höchstwerth ist, aus der Gleichung:

$$\frac{dB''}{dx} = 2\pi h\left(\frac{J}{h^2 + x^2} - n\right) = 0 \quad \text{und} \quad h = \sqrt{\frac{J}{n} - x^2}.$$

Im Freien wird bei gleicher Lichtmenge und gleicher Höhe der Lichtquellen die größte Gleichförmigkeit einer Beleuchtung durch eine möglichst große Anzahl von Lichtquellen erreicht, also nicht etwa durch einzelne Bogenlampen. Lichtquellen von 2000 Kerzen, in Entfernungen von 100 m von einander aufgestellt, geben z. B. als geringste Beleuchtung $2 \times 2000:(50^2 + 10^2) = 1{,}54$ Meterkerzen, als größte Beleuchtung $2000:10^2 = 20$ Meterkerzen. Verwendet man statt dessen Lampen von 500 Kerzen, 50 m von einander entfernt, so ergeben sich in entsprechender Weise 1,38 bezw. 5 Meterkerzen, d. h. letztere Beleuchtung ist gleichmäßiger und gewiß billiger.

Bei Beleuchtung eines Platzes stellt man die Lampen so, daß sie an den Ecken von gleichschenkeligen Dreiecken zu stehen kommen. Bei der Entfernung a der Lichtquelle ist dann die geringste Beleuchtung $= 3J:(h^2 + {}^1/_3\, a^2)$. Stehen z. B. Lampen von 800 Kerzen 8 m über dem Boden und 54 m von einander entfernt, so ist die geringste und größte Beleuchtung 0,94 bezw. 12,5 Meterkerzen.

Stellt man nun die Beleuchtung desselben Platzes mit 3 mal so starken Lichtquellen in $^1/_3$ so großer Anzahl her, so werden die Seiten der neuen gleichseitigen Dreiecke $= a\sqrt{3}$ sein müssen und es wird dem zu Folge die geringste Beleuchtung $= 3 \times 3J:(h^2 + a^2) = 3 \times J:({}^1/_3\, h^2 + {}^1/_3\, a^2)$. Diese Beleuchtung ist augenscheinlich stärker als im ersten Falle. Für obiges Beispiel wird die geringste Beleuchtung $= 1{,}12$, die größte $= 37{,}5$ Meterkerzen.

Soll die Mindestbeleuchtung nicht größer werden, sondern dieselbe bleiben wie im ersten Falle, so muß sein:

$$J:(h^2 + {}^1/_3\, a^2) = xJ:(h^2 + a^2) \text{ oder } x = (h^2 + a^2):(h^2 + {}^1/_3\, a^2),$$

also bei $h = 8$ m und $a = 24$ m wird $x = 2{,}5$, d. h. um das Mindeste der Beleuchtung des Platzes mit nur $^1/_3$ der Lichtquellen herzustellen, genügt es, jeder

dieser Lichtquellen eine 2,5 mal so große Helligkeit zu geben. Die Vertheilung des Lichtes ist in diesem Falle allerdings eine andere geworden; während die Mindestwerthe dieselben blieben, ist die Summe der Beleuchtung vergrößert worden.

Will man, bei gleich großer erzeugter Lichtmenge, in beiden Fällen dieselbe Gleichförmigkeit der Beleuchtung, so muß man im zweiten Falle die Höhe der Lichtquellen vergrößern, nämlich auf $h\sqrt{3}$. Dann wird wieder die geringste und größte Beleuchtung = 0,94 bezw. 12,5 Meterkerzen wie im ersten Falle. Die 3 mal so starken Lichtquellen ergeben dieselben Beleuchtungsgrenzen, aber die Vertheilung der Beleuchtung ist trotzdem eine gleichförmigere, da die Anzahl der Lichtquellen eine geringere ist und in Folge dessen die Orte, welche die stärkste Beleuchtung erhalten, weiter aus einander liegen; die Beleuchtungscurven sind flacher.

Nachträge zur Brennwerthbestimmung.

Die Brennwerthbestimmungen[1]) durch Verdampfungsversuche mit Dampfkesseln (vergl. S. 131) in der Form, wie sie von der Heizversuchsstation in München ausgeführt wurde (S. 161), mögen nochmals besprochen werden, da denselben mehrfach[2]) ein Werth beigelegt wurde, den sie thatsächlich nicht besitzen, wie sich bei näherer Betrachtung der inzwischen veröffentlichten Resultate[3]) ergiebt.

Das verdampfte Wasser wurde nicht gewogen, sondern es wurde der Dampf in ununterbrochen zugeführtes Wasser geleitet, dessen Menge dadurch bestimmt wurde, daß man dasselbe aus im Boden befestigten Messingeinsätzen mit engen Oeffnungen ausfließen ließ. Bei seinen Versuchen über Schmiermittel[4]) fand Verf., daß aus einer Platinöffnung in der Secunde bei 10° 1,3 ccm destillirtes Wasser ausfloß, bei 40° aber 2 ccm, offenbar infolge der Metallausdehnung und der leichteren Beweglichkeit des Wassers. Messing dehnt sich aber stärker aus als Platin, so daß — abgesehen von etwaigen Ansätzen aus dem Münchener Wasser — für je 1° Temperaturunterschied etwa 2 Proc. mehr oder weniger Wasser ausfließen. Die Wassermessungen können also nicht genau sein.

Ferner waren die Wärmeverluste der Anlage durch Leitung und Strahlung keineswegs so genau zu bestimmen, wie es zu Brennwerthbestimmungen erforderlich ist.

---

[1]) Auf den sonderbaren Vorschlag von Gmelin (Oesterr. Zeitschr. Berg. H. 1886, 365), den Brennwerth der Kohlen aus dem Gehalte derselben an Wasser und Asche zu berechnen, möge verwiesen werden, da er werthlos ist. Auch die ferneren Versuche, das sog. Welter'sche Gesetz und die Dulong'sche Formel (vergl. S. 256) zu stützen, sind erfolglos; Annal. industr. 1883, 38; Portef. économ. des machines 1882. 190; Zeitschr. d. Vereins deutscher Ing. 1875, 645; Maschinenbauer 17, 411. — [2]) W. Gyßling legt dieselben sogar seiner Schrift: Die Auswahl, Lieferung und Prüfung des Brennmaterials für Dampferzeugung (München 1881), zu Grunde. — [3]) H. Bunte: Bericht der Heizversuchsstation München. 3 Hefte. (München 1879, 1881 und 1882). — [4]) Fischer's Jahresber. 1880, 828.

Die analysirten Kohlenproben entsprechen nicht dem Durchschnitte der unter dem Kessel verbrannten, weil offenbar viel zu wenig Proben genommen und untersucht wurden. Bei dem einzigen ausführlich veröffentlichten Versuche (S. 164) betrug z. B. das Gewicht der Asche im Aschenfall 15,3 Proc., während die analysirte Probe nur 6 Proc. enthielt. Mit dem Aschengehalte wechselt aber auch in der Regel die Zusammensetzung der Kohlensubstanz, so daß es nicht genügt, wie Scheurer-Kestner will, die Resultate auf aschefreie Kohlen umzurechnen, sondern es sind derartige Versuche einfach als unbrauchbar zu verwerfen.

Ungenügend ist schließlich die Bestimmung des Wärmeverlustes durch die Verbrennungsgase, wie Verf.[1]) nachgewiesen hat. Berücksichtigt man ferner den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und legt bei dem Versuche (S. 164) die genauen Werthe (S. 267) zu Grunde, so ergiebt sich als Verlust durch die Gase statt 2422 etwa 2522, also 100 W.-E. mehr.

Die Resultate der Münchener Versuchsstation sind demnach durchaus unzuverlässig und können keineswegs als Brennwerthbestimmungen gelten, die daraus von H. Bunte[2]) für die Dulong'sche Formel (S. 382, Note 1) gezogenen Schlüsse somit hinfällig[3]).

Scheurer-Kestner[4]) bestreitet die Bemerkungen des Verf. über seine Versuchsanordnungen (S. 133). Verf.[5]) hat jedoch gezeigt, daß diese Scheurer-Kestner'schen Dampfkesselversuche durchaus fehlerhaft waren, so daß sie nur noch historischen Werth haben.

Scheurer-Kestner hat nun neuerdings[6]) mit Ruhrkohle, angeblich derselben, welche zu dem später erwähnten calorimetrischen Versuche gedient hatte, und mit dem bereits früher angewendeten Kessel einen Verdampfungsversuch ausgeführt, welcher bei 53 Stunden Dauer ergab:

Kohle verbrannt	7 109 kg
darin hygroskopisch Wasser 5,5 Proc. .	399
Asche erhalten	819
somit reine Kohle verbrannt	5 901
Wasser verdampft von 26,7°	57 920 Liter
entsprechend Wasser von 0° berechnet .	55 524

Dampfdruck 5 kg. Somit hat 1 kg rohe Kohle 7,82 Liter Wasser von 0° verdampft, entsprechend 9,41 Liter für trockene aschenfreie Kohle.

---

[1]) Zeitschr. d. Vereins deutscher Ing. 1884, 400. — Wie mangelhaft der Münchener Versuchskessel war, geht auch daraus hervor, daß trotz sorgfältiger Wartung (in dem mitgetheilten Versuche) der Wärmeverlust durch Herdrückstände 4,1 Proc., durch unvollständig verbrannte Gase 8, durch heiße Gase 21,1, zusammen 33,2 Proc. betrug, während dieser Verlust des Hannoverschen Betriebsdampfkessels (S. 385) sich nur auf 11,8 Proc. stellte. — [2]) Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, 440 u. 730; 1883, 440. Bunte behauptet (das. 1883, 448), „daß die Heizversuchsstation München zuerst den Heizwerth der Brennstoffe richtig bestimmt und die angenäherte Uebereinstimmung dieses Werthes mit der Dulong'schen Regel experimentell nachgewiesen hat“. Diese Behauptung ist unrichtig. Das Verdienst, den Brennwerth der Steinkohlen zuerst richtig bestimmt zu haben, gebührt zweifellos Scheurer-Kestner, dessen Dampfkesselversuche allerdings unbrauchbar sind. — [3]) Vergl. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1884, 399. — [4]) Bull. de Mulhouse 1883, 627; Dingl. Journ. 234, 329. — [5]) Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1884, 398; Dingl. Journ. 251, 323. — [6]) Bull de Mulhouse 1885, 328 u. 375.

Mit einem 10 Liter fassenden Gasometer, dessen Wasser mit einer Oelschicht bedeckt war, aufgefangene Gasproben enthielten 9,3 Proc. Kohlensäure und 9,2 Proc. Sauerstoff. Die Temperatur der Gase betrug 134°. Brennbare Gase wurden nicht bestimmt; die Menge derselben wurde vielmehr lediglich nach den früheren Versuchen geschätzt, ebenso der Ruß. Auf diese Weise gelangt Scheurer-Kestner zu folgender Wärmevertheilung:

	W.-E.	Proc.
vom Wasser aufgenommen	6135	67,3
durch die Verbrennungsgase abgeführt	770	8,5
für unverbrannte Gase	242	2,7
Ruß	36	0,4
zusammen	7183	78,9
somit fehlen	1928	21,1

Die unter dem Kessel verbrannte Kohle ergab somit 12 Proc. Asche (mit 4,3 Proc. unverbrannter Kohle, welche nicht berücksichtigt wurde), während die zur Analyse verwendeten Proben nur etwa 1 Proc. enthielten. Die Proben entsprechen somit keineswegs der wirklich verbrannten Kohle. Da ferner die Verluste willkürlich geschätzt wurden, so würden diese Verdampfungsversuche überhaupt keine ernstliche Besprechung verdienen, wenn sie nicht den Namen Scheurer-Kestner trügen.

Inzwischen hat auch der Verf.[1]) seine Versuche (vergl. S. 251) an Dampfkesseln fortgesetzt und möchte den S. 264 angegebenen Versuch jetzt selbst keineswegs als Muster bezeichnen, wohl aber den folgenden.[2]) Derselbe wurde in Rücksicht darauf, daß sich Scheurer-Kestner mit Vorliebe auf seinen Versuch mit Holzkohle beruft — von welchem Verf.[3]) allerdings schon früher nachgewiesen hat, daß er durchaus fehlerhaft war —, mit Steinkohle und Holzkohle auf Veranlassung des Verf. in der Smirgelfabrik von Oppenheim u. Comp. in Hainholz vor Hannover ausgeführt.

Unter gütiger Mitwirkung des Herrn Director Weinlig vom Magdeburger Dampfkesselverein und Oberingenieur Kobus vom Hannoverschen Dampfkesselverein wurde von zwei Vereinsingenieuren die Verdampfungszahl durch Wiegen der Kohlen und des Wassers, Anmerken des Manometerstandes u. s. w. (nach den Normenvorschlägen) festgestellt. Herr Docent E. Müller war so freundlich, alle 10 Minuten die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft, die Temperatur der abziehenden Gase bei *e*, Fig. 274 (mit Geißler'schem Quecksilberthermometer mit Stickstofffüllung), sowie die des Nebenkessels zu bestimmen. Durch ein ebenfalls bei *e* luftdicht eingesetztes Glasrohr wurden von Herrn Meyer täglich zweimal während etwa 4 Stunden 10 bis 15 Liter Verbrennungsgase durch ein Chlorcalciumrohr (H_2O), einen Kaliapparat (CO_2), ein Rohr mit glühendem Kupferoxyd, nochmals durch Chlorcalcium und Kali (H und CO), schließlich durch eine Experimentirgasuhr in ein Glockengasometer angesaugt. Mir selbst blieb die

---

1) Fischer's Jahresber. 1883, 1290; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1883. 399. — 2) Fischer's Jahresber. 1885, 1297; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1886, 46. — 3) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1884, 399.

Aufgabe, stündlich 6- oder 12mal Gasproben auf ihren Gehalt an Kohlensäure, Kohlenoxyd und Sauerstoff mit dem Apparate (S. 248) zu untersuchen.

Der aus dem Kessel entweichende Dampf wurde durch ein Möller'sches Dampffilter geführt, um etwa mitgerissenes Wasser bestimmen zu können.

Fig. 275.

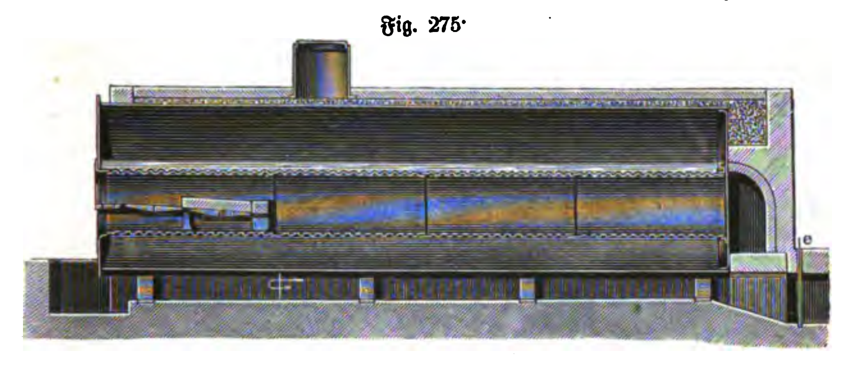
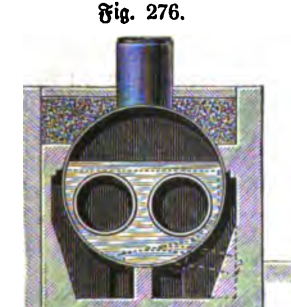


Fig. 276.



Das aus dem Filter abgelassene Wasser erwies sich jedoch als rein, so daß ein Ueberreißen von Wasser überhaupt nicht stattgefunden hat. Es wurden daher alle denkbaren Vorsichtsmaßregeln gebraucht, um genaue Ergebnisse zu erzielen.

Der Kessel (s. Fig. 275 und 276) war am 7. Juni zum letzten Male gereinigt. Da sich bei dem Vorversuche ergab, daß (wie dieses sehr häufig der Fall ist) der Rost zu groß war, so wurde er, wie in Fig. 275 angedeutet, hinten bis auf 790 mm Länge abgedeckt. Die vom Wasser bespülte Heizfläche betrug 71,8 qm, die verdampfende Wasserfläche 18,2 qm. Am 15. und 16. Juli wurde Nußkohle von Zeche Germania gebrannt, am 17. Juli Buchenholzkohle.

Die wesentlichsten Ergebnisse waren:

		Steinkohle		Holzkohle
Versuchsdauer	Stdn.	$9^1/_4$	$10^1/_2$	10
Kohlenverbrauch	kg	587,2	650	743
Wasser	kg	5896	6524	6386
Wassertemperatur		19,6°	19,45°	19,7°
Dampfdruck	Atm.	4,9	4,9	4,9
1 kg Kohle verdampfte Wasser	kg	10,03	10,04	8,60
Entspr. Wärmeeinheiten		—	6378	5460
Herdrückstände	kg	66	54,5	—
Temperatur der Rauchgase		243°	235°	235°
desgl. des Nebenkessels		231°	228°	222°

Die beiden Versuche mit Steinkohle stimmen somit fast völlig überein. Eine Rußbestimmung ergab unter 0,1 Proc., wurde daher nicht weiter berücksichtigt. Da die eine Bestimmung der unvollständig verbrannten Gase am ersten Tage verunglückte, so soll nur der zweite Tag weiter berücksichtigt werden.

Die in bekannter Weise genommene Durchschnittsprobe der Kohlen ergab die S. 403 angegebenen Werthe. Etwa alle zwei Stunden genommene kleinere Proben ergaben:

	Wasser	Asche
1.	1,94	6,61
2.	1,30	7,51
3.	1,93	8,91
4.	1,34	7,45
5.	0,75	7,82
6.	1,15	7,61
Mittel	1,40	7,65

Die Untersuchung der Rauchgase ergab im Mittel von 75 Analysen:

Kohlensäure	12,42	Proc.
Kohlenoxyd	0,08	„
Sauerstoff	7,45	„
Stickstoff	80,05	„

Der Wassergehalt der Rauchgase wurde aus der Zusammensetzung der Kohlen und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft berechnet. Daraus ergiebt sich in der früher (S. 260) angegebenen Weise ein Wärmeverlust von 808 W.-E. Die 8,38 Proc. Herdrückstände enthielten 11 Proc. Kohlenstoff, entsprechend 74 W.-E.

Die verwendete Holzkohle hatte trocken im Durchschnitt folgende Zusammensetzung:

Kohlenstoff	85,22	Proc.
Wasserstoff	2,21	„
Sauerstoff	11,23	„
Asche	1,34	„

Die calorimetrische Bestimmung der trockenen Kohle ergab 7291 W.-E., also etwas mehr als der Dulong'schen Formel entspricht. Die Wasserbestimmung der Einzelproben ergab im Durchschnitt 1,45 Proc., so daß die verbrannte Kohle einen Brennwerth von 7180 W.-E. hatte. Die Untersuchung der Rauchgase ergab im Durchschnitt:

Kohlensäure	13,61	Proc.
Kohlenoxyd	1,01	„
Wasserstoff	0,09	„
Sauerstoff	6,09	„
Stickstoff	79,20	„
	100,00	

Danach ergiebt sich für die besprochenen Versuche, im Vergleich zu zwei in Essen ausgeführten, folgende Wärmevertheilung:

	Essen[1])		Hannover	
	Wellrohrkessel 6. Juli 1883	Zweiflammrohr 20. Juli 1883	Steinkohle 16. Juli 1885	Holzkohle 17. Juli 1885
Kohle auf 1 qm Rostfläche . . . . kg	123,8	86,3	46,9	55,4
Wasser auf 1 qm Heizfläche . . . „	26,6	24,7	8,7	8,9
Brennwerth der Kohle, calorimetrisch bestimmt . . . . W.-E.	7790	7720	7630	7180
Davon in Wasser aufgenommen . Proc.	74,9	68,4	83,6	76,0
Verlust in den Herdrückständen . . „	2,1	3,6	0,9	0
„ durch unvollständig verbrannte Gase . . . . „	—	—	0,3	4,9
Verlust durch die höhere Temperatur der Rauchgase . . . . „	16,7	19,3	10,6	10,9
Verlust durch Leitung und Strahlung als Rest . . . . „	6,3	8,7	4,6	8,2

Die größere Kohlenoxydbildung bei Holzkohlenfeuerung erklärt sich daraus, daß eine dicke Schicht Holzkohle leicht Kohlenoxyd giebt, während gleichzeitig im anderen Flammrohre überschüssiger Sauerstoff vorhanden sein kann. Treffen die Gase am Ende beider Flammrohre zusammen, so sind sie bereits unter die Entzündungstemperatur des Gemisches abgekühlt, so daß nun Kohlenoxyd und Sauerstoff neben einander entweichen. Darin liegt eben der Vorzug des weiten Wellblechflammrohres, daß hier die Gase viel mehr Gelegenheit haben, sich zu mischen, so lange sie noch heiß sind.

Daß der Wärmeverlust durch Strahlung bei Holzkohlenfeuerung stärker ist als bei Steinkohlen, war schon während des Versuches vorauszusehen, da hierbei vor dem Kessel eine kaum erträgliche Hitze herrschte.

Da die Temperatur der abziehenden Gase des Nebenkessels fast genau so hoch war wie die des Versuchskessels, so kann wenigstens von einer Wärmeübertragung auf letzteren nicht die Rede sein. Bei einzelnen Kesseln wird der Verlust durch Leitung und Strahlung wohl etwas größer sein als hier; mehr als 8 bis 10 Proc. wird er aber bei gut in Stand gehaltener Einmauerung wohl nicht betragen, ein weiterer Beweis, daß die Angaben Scheurer-Kestner's nicht richtig sein können.

Jedenfalls folgt aus diesen Versuchen, daß ein Dampfkessel nicht zur Bestimmung des Brennwerthes geeignet ist, daß aber sorgfältige Versuche über die Ausnutzung der Wärme an Dampfkesseln sehr wichtig sind. Die

[1]) Fischer's Jahresber. 1883, S. 1289.

eigentliche **Brennwerthbestimmung** ist nur mit kleinen Mengen im Laboratorium ausführbar.[1])

F. **Stohmann** und C. v. **Rechenberg**[2]) beschreiben Verbesserungen des **Thomson**'schen Calorimeters (S. 155), in welchem die Stoffe mit chlorsaurem Kalium gemischt verbrannt werden.

Dieses Verfahren ist zur Bestimmung des Brennwerthes von **Nahrungsmitteln** wohl brauchbar. Für die eigentlichen **Brennstoffe** ist es nicht geeignet, da die **Verbrennungsproducte** nicht bestimmt werden können und auch die übrigen Fehlerquellen anscheinend noch nicht feststehen. So war anfangs die Zahl, durch deren Abzug von dem beobachteten Brennwerthe alle durch Nebenprocesse ausgeübten Einflüsse beseitigt werden sollen, zu 602, dann zu 490 und neuerdings zu 634 W.-E. bestimmt. Zu welchen falschen Schlüssen aber solche ungenauen Bestimmungen führen können, ergiebt sich z. B. daraus, daß nach früheren Bestimmungen **Rechenberg**'s die Bildung von Naphtalin und Anthracen unter bedeutender **Wärmebindung**, nach neueren aber unter erheblicher **Wärmeentwickelung** — für die Reaction $C_{10}, H_8 = + 26\,240$ W.-E. — vor sich gehen müßte.[3]) Danach kann man vorläufig auch den früher angegebenen Brennwerthbestimmungen einiger Steinkohlen[4]) keine Beweiskraft zusprechen, um so weniger, als die Zusammensetzung der Kohlen nicht angegeben ist.

Am naturgemäßesten, weil der thatsächlichen Verwendung entsprechend, ist jedenfalls die Verbrennung der Probe im **freien Sauerstoff**.

C. **Völckner** beschreibt das von dem Calorimeter-Comitee des Oesterreichischen Ingenieur- und Architektenvereins[5]) vorgeschlagene **Calorimeter** (Fig. 277 und 278). Der aus starkem Kupferblech hergestellte Ofen *O* ist durch eine gußeiserne, mit Rohransätzen versehene Deckplatte geschlossen. Mittelst eines Halses

---

[1]) Vergl. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1886, 619.

L. **Rinman** (Jern. Kont. Ann. 1880 u. 1881; Dingl. Journ. 205, 166) will den Brennwerth aus der Menge und der Art der aus den Brennstoffen hergestellten Gase bestimmen. Er übersieht dabei, daß bei der **Entgasung** der Stoffe Wärme gebunden wird.

Nach **Lebaigue** (Répertoire de pharm. 2880, 6) werden 0,2 g sehr fein geriebene und gesiebte Kohlen mit 2 g reinem Kaliumnitrat in einem Glasmörser innig zusammengerieben. Um die Wirkung des Nitrats auf die Kohle zu mildern, werden noch 5 g Natriumsulfat zugemischt und das Ganze in einem silbernen Tiegel langsam geschmolzen. Ist die Masse weiß geworden und kann kein Ueberspritzen eintreten, so wird bis zum Schmelzen stark erhitzt. Noch heiß in eine Porzellanschale gebracht, welche 100 g destillirtes Wasser enthält, löst sich die ganze Masse leicht ab, so daß 120 g Flüssigkeit durch Abspülen erhalten werden. Mit Lackmuspapier gebläut und zum Kochen erhitzt, wird mit Schwefelsäure, welche im Liter 61,65 g H_2SO_4 enthält, titrirt. — Die Angabe, daß dem Sättigungsgrade die Heizkraft entspreche, ist falsch (vergl. S. 129).

[2]) Landw. Jahrb. 1884, *515; Journ. prakt. Chem. 19, 115; 22, 223; 31, 273; **Fischer**'s Jahresber. 1885, *347. — [3]) Sonderbarer Weise behauptet **Rechenberg** (Journ. prakt. Chem. 22, 223) trotzdem, das Verfahren mit chlorsaurem Kalium sei viel genauer als das mit freiem Sauerstoff. Inzwischen ist aber sowohl **Thomson** (S. 404) selbst, als auch **Stohmann** zur Verwendung des **freien Sauerstoffes** übergegangen. — [4]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1882, 443. — [5]) Dessen Zeitschr. 1882, *31.

und starker Flanschen ist der Ofen an die Stirnplatte des kastenförmigen Ausbaues *A* angeschraubt. Die obere schräge Decke des kastenförmigen Ausbaues ist mit einem Stopfbüchsenaufsatze versehen, durch welchen das von oben eingeführte Rohr *h* abgedichtet wird. Dieses mit einer Glimmerplatte verschlossene Beobachtungsrohr wird mit dem Rohrstutzen auf dem Ofendeckel durch einen eingeschliffenen Kegel und Stopfbüchsenmutter verbunden. Der Ofen ruht außerdem auf

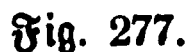
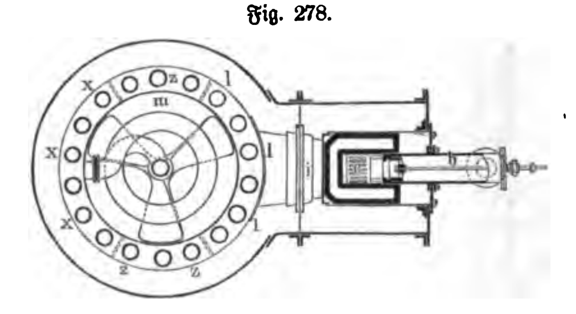


Fig. 277.

zwei auf der Bodenplatte des Calorimeters aufgenieteten I-Eisen lose auf. Wenn der Ofen abgenommen werden soll, so wird zuerst die Stirnplatte des Ausbaues entfernt, sodann die innere Stopfbüchsenmutter der Rohres *h* gelöst und dasselbe emporgeschoben, danach die Flansche gelöst, welche den kastenförmigen Ausbau mit dem Umhüllungscylinder verbindet, der Ausbau abgenommen und steht nun der Ofen selbst frei auf den I-Eisen. Nach Lösung der Flansche am Halse *i* kann der Ofen abgenommen werden. Die Montirung erfolgt in der gleichen Weise umgekehrt.

Der zur Aufnahme des vorher abgewogenen Brennstoffes bestimmte Kasten *a* ist nach unten mit einem seitlich laufenden Schieber versehen, welcher mit einer in luftdichtem Verschluß und Stopfbüchse abgedichteten Stange bewegt wird. Im Zuführungsrohr *b* befindet sich ein hohler Kolben, dessen abgeschrägte vordere Fläche einen aus eingeschobenen Speckfsteinstreifen bestehenden Rost bildet. Wird der Kolben in die punktirt angegebene Stellung zurückgezogen, so kann der Schieber des Kohlenkastens *a* geöffnet werden, wodurch Brennstoff in das Rohr hinabfällt. Der Schieber wird wieder geschlossen und die frische Kohle tritt beim Vorschieben des Kolbens von unten in die Verbrennungskammer *d*. Das Luftzuführungsrohr *c* steht mit einer Gasuhr in Verbindung. Zur Vorwärmung der Luft ist die untere Hälfte der gußeisernen Verbrennungskammer mit einem Luftcanal umgeben, welcher durch feine Oeffnungen mit dem Inneren des Herdes in Verbindung steht. Der in einer Curve ansteigende Rost *e* bedeckt den dicht abgeschlossenen Aschenkasten und ist je nach der Natur der zu untersuchenden Kohle geschlitzt. Der Schieber *f* regelt den Zutritt der Luft zu dem die Verbrennungs-

Fig. 278.



kammer umgebenden Canal, die den Aschenkasten abschließende Thür *g* den Luftzutritt zu dem Roste *e*.

Der die Verbrennungsproducte aufnehmende Apparat *B* besteht aus zwei Ringcanälen *k*, welche durch 18 Kupferröhren mit einander verbunden sind. Der untere Ring ist durch Scheidewände derart abgetheilt, daß die durch den Verbindungsstutzen *i* eintretenden Verbrennungsproducte durch sechs Röhren *l* emporsteigen können. Im oberen Ringe sind die Scheidewände so eingesetzt, daß die Abströmung nach unten durch die sechs Röhren *z* erfolgt, während die Scheidewände des unteren Ringes den Gasen wieder nur das Aufsteigen durch die Röhren *x* gestatten. Die so in das letzte Drittel des Ringes *k* eintretenden Verbrennungsproducte werden nun in der Schlange *m* nach unten geführt und steigen durch das Rohr *n* wieder empor. Dieses Rohr biegt unter dem Wasserspiegel ab, durchdringt die Wandung des Cylinders und der Umhüllung und wird außerhalb des Apparates in einer Wasserumhüllung wiederum nach unten geführt, wo es sich mit dem nicht gezeichneten Gebläse verbindet, welches die Aussaugung besorgt. Die außerhalb des Apparates stehende Wasserumhüllung des Rohres *n* ist mit dem Wasser im Inneren verbunden. Das mit den Abtheilungen des unteren Ringes und dem Rohre *n* verbundene Rohr *o* führt das aus den Verbrennungsgasen verdichtete Wasser in das Meßglas *p*, welches gleichzeitig zur Messung des

Druckes im Apparate dient. An verschiedenen Stellen angebrachte Thermometer *t* zeigen die Temperatur der Wasserfüllung, welche mittelst Propellerschraube *C* in Bewegung erhalten wird.

Der die Wasserfüllung und den Apparat aufnehmende Blechcylinder steht auf einer starken schmiedeisernen Platte, welche durch ein Gestell gestützt und von gußeisernen Böcken getragen wird. Sämmtliche vom Wasser berührte Flächen sind mit einer Isolirmasse *r* bekleidet. Auf diese Isolirmasse kommt eine Lage Asbest, darauf Haarfilz. Diese beiden Materialien werden mit Streifen von Oeltuch umwunden und bilden so die Lage *s*, welche wiederum durch eine hölzerne faßartige Umkleidung, die durch Eisenreifen gehalten wird, umschlossen ist. Der Apparat nimmt etwa 4000 Liter Wasser auf; sein Wasserwerth stellt sich auf etwa 350 W.-E. Den Brennwerth der besten österreichischen Kohle zu 7500 W.-E. angenommen, würden daher die zu einem Versuche bestimmten 10 kg Kohle die Temperatur des Apparates um 17,24° erhöhen.

Vor Beginn einer jeden Untersuchung wird eine bestimmte Menge Holzkohlen, deren Wärmewirkung genau bekannt ist, in dem Apparat verbrannt, um den Inhalt desselben um etwa 5° zu erhöhen. Es soll auf diese Weise ein Beharrungszustand in allen Theilen des Apparates eintreten und beginnt die Einführung der zu untersuchenden Kohle dann in der beschriebenen Art von unten unter die brennende Holzkohle, wobei der Herd von der letzteren noch vollständig angefüllt sein soll. Die durch ein Gebläse abgesaugten Verbrennungsgase werden in einem Gasometer gesammelt, um von Zeit zu Zeit untersucht zu werden.

Dieser allerdings hübsche Apparat steht somit, wie der von Bolley (S. 150) vorgeschlagene, etwa in der Mitte zwischen den Dampfkesseln[1]) und den kleinen Calorimetern. Völckner begründet diese Wahl damit, daß bei den Versuchen von Scheurer-Kestner zu geringe Mengen verwendet waren. Außerdem seien alle Versuche mit fein gepulverten Brennmaterialien vorgenommen, ein Zustand, in welchem dieselben in der Praxis niemals verwendet würden, so daß, wenn auch gegen die wissenschaftlichen und relativen Vergleichungswerthe nichts gesagt werden könne, doch gegen die Zuverläßlichkeit aller nach den bisherigen Methoden gefundenen Heizwerthe von Brennmaterialien für die praktische Anwendung gerechte Bedenken erhoben werden müßten.

Dieser Einwurf[2]) ist sonderbar, da doch der Brennwerth der Kohlen mit der Korngröße derselben nichts zu schaffen hat. Zweifelhaft ist ferner, ob eine genügend vollständige Verbrennung in dieser Weise zu erzielen ist und ob die

[1]) Vergl. C. Völckner: Bericht des von der niederösterr. Handels- und Gewerbekammer eingesetzten Comité zur Berathung über eine in Wien zu errichtende Versuchsanstalt für die Erprobung des Heizwerthes von Brennmaterialien (Wien 1880). Hier wurde ein Dampfkessel in Aussicht genommen.

[2]) In ähnlicher Weise sagt H. Bunte (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing., Jahrg. 1882, S. 440): „Nur dadurch, daß mit der Bestimmung der Verbrennungswärme, des totalen Heizwerthes der Brennstoffe, auch deren praktische Leistung ermittelt wurde, haben diese Werthe denjenigen positiven, realen und praktischen Hintergrund, durch den sie allein ein Anrecht besitzen, in der Praxis als Maßstab für die Werthbestimmung im Gebrauch und Verkehr mit Brennstoffen zu gelten. Gegen einen im Calorimeter gefundenen, selbst mit aller wissenschaftlichen Genauigkeit ermittelten Heizwerth wird sich die Praxis

sonstigen Versuchsfehler mit diesem jedenfalls theuren Apparate, der übrigens anscheinend bis jetzt noch gar nicht ausgeführt wurde, thatsächlich geringer sind, als die mit dem kleinen (S. 401).

F. Schwackhöfer[1]) fordert, daß bei jeder Brennwerthbestimmung 8 bis 10 g Kohle verbrannt werden können und zwar 5 bis 6 g Mineralkohle nebst 2 bis 4 g Zuckerkohle, um die Verbrennung der ersteren zu befördern.

Der untere Theil A (Fig. 279) der aus starkem Platin angefertigten Verbrennungskammer dient zur Aufnahme der zu untersuchenden Mineralkohle, der obere A_1 für die Zuckerkohle. Die Kammer ist bei a und bei b zu öffnen, um die Kohle einbringen und die beiden gebogenen Siebe c und d nach erfolgter Verbrennung behufs Reinigung herausnehmen zu können. Die Siebe sind aus Platinblech hergestellt und mit einer eigenen Maschine gelocht. Die Oeffnungen des unteren Siebes c sind so klein, daß sie nur im durchfallenden Lichte deutlich erscheinen. Das obere Sieb d besitzt etwas größere Oeffnungen. Die Rohre e, f und g führen Sauerstoff zu. Die Rohre f und m bestehen im oberen, aus dem Wasser herausragenden Theile aus Glas. (Das Rohr f ist in der Zeichnung um 90° verdreht. In Wirklichkeit stehen die Spiegel S und S_1 hinter einander, so daß der Vorgang auf den beiden Verbrennungsherden gleichzeitig beobachtet werden kann.) An der tiefsten Stelle des Mantelgefäßes mündet wie beim Apparate des Verf. (S. 160) das Gasabsaugrohr n ein. Das Rohrende steht im Inneren des Gefäßes etwa 1 cm vor, damit das bei der Verbrennung entstehende und im Gefäße B niedergeschlagene Wasser nicht in die Schlange gelangt. Unter dem Gefäße ist das Rohr spiralförmig gewunden, steigt dann in gerader Richtung auf (in der Abbildung ist es der Deutlichkeit wegen etwas gebogen) und mündet in das doppelwandige Glasgefäß o, in welches das Thermometer T_7 mittelst eines Kautschukstempels dicht eingepaßt ist. Die Gasabströmung steht durch den Kautschukschlauch p mit der Flasche N und durch diese mit den Aspiratoren O und P (letzterer in der Zeichnung nicht ersichtlich) in Verbindung.

Das kupferne Gefäß B ist innen platinirt, außen vernickelt. Das innere Wassergefäß C, sowie das Doppelgefäß E sind aus Kupfer hergestellt, innen und außen vernickelt; ersteres enthält das eigentliche Calorimeterwasser, während die Wasserfüllung des letzteren den Zweck hat, die durch die Isolirungsschicht D kommende Wärme aufzunehmen. Die innere Isolirungsschicht D besteht aus Eiderdunen, die äußere F aus feinen Flaumen. Ueberdies ist das Gefäß C noch mit

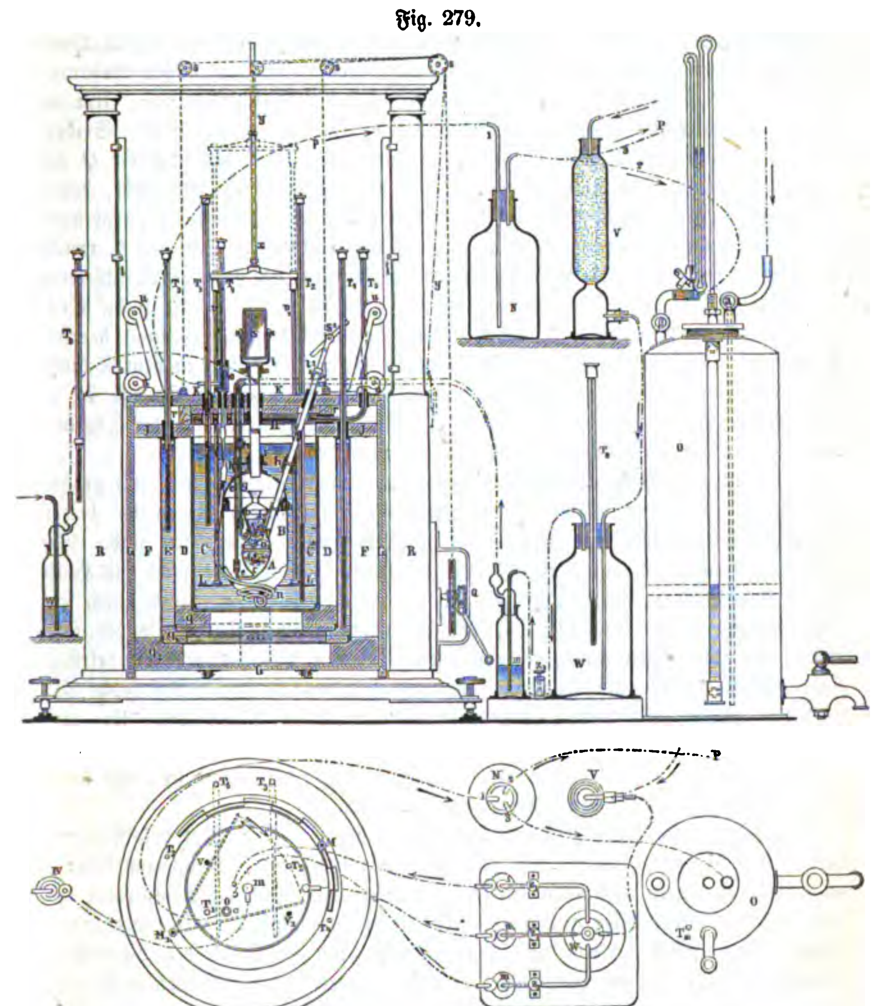
---

stets ablehnend verhalten. Und das mit Recht, denn es fehlt das Bindeglied, welches das wissenschaftliche Ergebniß mit der Praxis verknüpft. Wird aber durch Versuche, wie an der Münchener Station gezeigt, daß von dem totalen Heizwerthe ein bestimmter, je nach Umständen wechselnder Theil verwerthet, ein anderer Theil, genau wie bei jeder anderen Feuerung, durch Aschenfall, in den Rauchgasen, mit Ruß &c. verloren wird, so wohnt diesem Resultate eine Ueberzeugungskraft für den Praktiker inne, die eine abstract wissenschaftliche Beobachtung unmöglich besitzen kann." Dazu bemerkt Schwackhöfer (Zeitschr. f. anal. Chem. 1984, S. 453): „Diesen Passus hat Dr. Bunte wohl lediglich als Leiter der Münchener Station geschrieben, und ich zweifle, daß er in einer anderen Eigenschaft (ebenso wenig als irgend ein anderer unbefangener Fachmann) diese Zeilen unterschreiben würde."

[1]) Zeitschr. f. anal. Chem. 1884, S. 453.

einer Filzlage umgeben. Die Hartgummiklötze q halten die Gefäße in der richtigen Entfernung von einander. Der Holzkübel G ist rund gedreht, außen polirt und mittelst vier Laufrollen auf den beiden Schienen der Bodenplatte verschiebbar.

Fig. 279.



Das obere Wassergefäß H ist gleichfalls aus vernickeltem Kupfer hergestellt und hat den Zweck, die aus C aufsteigenden Wasserdünste zu verflüssigen, sowie überhaupt die nach oben ausstrahlende Wärme aufzunehmen. Durch dieses Gefäß gehen Rohrstutzen für die beiden Thermometer T_1 und T_2, für die Beobachtungsröhren f und m, sowie für die Führungsstangen des inneren Mischers. In dem Gefäße selbst befinden sich zwei Winkelthermometer T_5 und T_6. (Im Aufrisse ist nur eines dieser beiden Thermometer ersichtlich und zwar ist dasselbe in die

Bildebene gedreht. In Wirklichkeit stehen die beiden Thermometer hinter den beiden Beobachtungsspiegeln S und S_1.) Das Wassergefäß H ist an einem Holzringe mit Spangen befestigt und oben mit einer Filzplatte isolirt; nur die Unterseite ist frei. Die Korkplatte J bedeckt die Isolirschichten D und F und das Doppelgefäß E. In der Deckplatte K aus Hartgummi sind die beiden Beobachtungsröhren f und m mittelst Kork befestigt; ferner sind Oeffnungen vorhanden für die sechs Thermometer T_1 bis T_6 und für die Mischerstangen. Um die Platte in senkrechter Richtung heben zu können, sind an derselben zwei Seidenschnüre befestigt, welche über die Rollen s laufen und durch das Getriebe Q angezogen werden. Der Antrieb erfolgt durch eine archimedische Schraube, damit die Platte in jeder beliebigen Höhe stehen bleibt und ein freiwilliges Herabfallen derselben niemals vorkommen kann. Die beiden senkrechten Schienen t, welche den vier Laufrollen u als Führung dienen, verhindern jede seitliche Verschiebung der Platte. Die zwei Thermometer T_1 und T_2 sind mittelst Kork in die Deckplatte K eingepaßt und werden nach Schluß der Verbrennung jedesmal herausgenommen. Die beiden äußeren Thermometer T_3 und T_4 sind in dem Schlußringe des Doppelgefäßes E und die beiden oberen Thermometer T_5 und T_6 in dem Gefäße H ein- für allemal befestigt. Die Lupe zum Ablesen der Thermometer ist für die Orientirung des Auges mit zwei Visirfäden versehen.

Die innere Mischvorrichtung L besteht aus einer ringförmigen, mit großen Oeffnungen versehenen Kupferplatte. Als Führungsstangen dienen die beiden Glasröhren v, welche oben und unten in Messingkapseln eingekittet sind. Die Führungsstange x ist aus Messingdraht hergestellt. Der Mischer wird mit Hülfe der Seidenschnur y, welche über zwei Rollen läuft, gehoben und sinkt durch sein Eigengewicht wieder zurück. Die Mischvorrichtung im äußeren Doppelgefäße besteht aus zwei wellenförmig gebogenen Kupferblechen, die an Glasröhren befestigt sind, welche letzteren mit der Hand auf und ab bewegt werden. Auf solche Art wird das Wasser im cylinderförmigen Zwischenraume von E gemischt. Um auch das zwischen den beiden Böden befindliche Wasser in Bewegung zu setzen, ist noch ein durchbrochener Flügel vorhanden, welcher an einer Glasröhre sitzt und durch Drehung derselben einen Viertelkreisbogen beschreibt.

Zu dem Calorimeter gehört noch ein Trockenthurm V mit Natronkalkfüllung, eine Flasche W, um jeden der drei Zweigströme mittelst der Schraubenquetscher z nach Belieben regeln zu können (in dieser Flasche wird auch die Temperatur des zuströmenden Sauerstoffes gemessen), ferner drei Waschflaschen mit concentrirter Schwefelsäure gefüllt, davon Nr. I, II und III, um die Stärke des Sauerstoffstromes, und Nr. IV, um die Menge der zuströmenden Luft beurtheilen zu können. Der freie Lufteintritt in das Mantelgefäß B ist nothwendig, damit in der Verbrennungskammer immer normaler Druck herrscht; schon bei geringem Druckunterschiede entsteht Rauch. Für die Abströmung dient eine Flasche N, um die geringste Rauchbildung wahrzunehmen, ferner zwei Aspiratoren O und P. Der Aspirator O dient zur Aufsammlung der Hauptmenge des Gases und P zur Aufsaugung eines Theiles des Gasgemisches für die Analyse; beide sind mit Wasser gefüllt, auf welchem eine etwa 1 cm starke Oelschicht o sich befindet. Der Wasserwerth des inneren Gefäßes beträgt 291, des oberen 53 und des äußeren 615 g.

Zur Bereitung der Zuckerkohle wurde Hutmelis in nußgroße Stücke zerschlagen und in einem hessischen Tiegel bei gelinder Hitze verkohlt. Die stark aufgeblähte, kohlige Masse wurde in einem zweiten bedeckten Tiegel im Holzkohlenfeuer durch etwa zwei Stunden der Weißglühhitze ausgesetzt, nach dem Abkühlen in reiskorngroße Stücke zerkleinert und durch Absieben vom feinen Pulver befreit; letzteres wurde bei einer neuerlichen Verkohlung dem schmelzenden Zucker beigemischt. Dieselbe enthielt:

Kohlenstoff	97,27
Wasserstoff	0,78
Wasser, chemisch gebunden	1,41
Asche	0,54

Schwackhöfer nimmt den Sauerstoff als mit Wasserstoff chemisch gebunden an und ändert dem entsprechend die Dulong'sche Formel (vergl. S. 259) in folgender Weise:

$$(8080 \times 97,27 + 34462 \times 0,78) - (620 \times 1,41) : 100 = 8120 \text{ W.-E.}$$

Die calorimetrische Bestimmung gab 7946 bis 8009, im Mittel 7982 W.-E.

Bei Ausführung der Untersuchung wird das Calorimetergefäß C mit 5200 ccm Wasser von der Lufttemperatur gefüllt. Von der fein gepulverten Mineralkohle werden 5 bis 6 g, von der Zuckerkohle 2 bis 4 g genommen, so daß die Temperaturerhöhung des Calorimeterwassers möglichst 10° beträgt, da die Ergebnisse nur dann genau ausfallen, wenn bei allen Versuchen sowohl die Verbrennungsdauer, etwa 60 Minuten, als auch die Temperatursteigerung annähernd die gleiche ist. Nach dem Abwiegen der Mineralkohle in der Platinkammer A wird sie mit Hülfe der Muffen im Mantelgefäße B befestigt und letzteres verschraubt. Man wartet 15 bis 30 Minuten, bis das Gefäß B, welches sich durch das Anfassen mit den Händen etwas erwärmt hat, wieder abgekühlt ist, läßt sodann die Deckplatte herab, fügt die Thermometer T_1 und T_2 ein, stellt die erforderlichen Schlauchverbindungen her und setzt die beiden Spiegel auf. Man wartet nun so lange, bis die Temperatur stetig geworden ist, liest sodann alle sieben Thermometer ab und beginnt mit der Verbrennung. Zu diesem Ende läßt man Sauerstoff durch das Rohr f in die Mitte der Verbrennungskammer eintreten, hebt die Verschlußkapsel mit dem Spiegel S ab, bringt durch Einfallenlassen eines kleinen glimmenden Holzkohlensplitters durch das Rohr m die Zuckerkohle in A_1 zur Entzündung und setzt den Spiegel wieder auf. Gleich darauf läßt man den großen Aspirator O in Wirksamkeit treten, verschließt die Flasche N und setzt nach einigen Minuten auch den kleinen Aspirator P in Thätigkeit. Der Wasserausfluß wird so geregelt, daß in O ungefähr $^5/_6$ und in P $^1/_6$ der ganzen Gasmenge aufgesammelt wird. Die Gluth zieht sich in der Zuckerkohlenschicht allmälig nach abwärts, verlischt oben und brennt nur unten auf dem Siebe d fort. Sobald die Gluth unten angelangt ist, erfolgt auch die Entzündung in der unteren Kammer von selbst, indem kleine glühende Zuckerkohlentheilchen durch das groß gelochte Sieb d auf die Mineralkohle fallen.

Nachdem die Mineralkohle an einer Stelle glüht, verstärkt man den Sauerstoffstrom durch f und läßt auch durch das Rohr g Sauerstoff eintreten. Die

Gluth verbreitet sich alsbald über die ganze Oberfläche der Mineralkohle und die Verbrennung dieser letzteren erfolgt allmälig von oben nach unten. Gegen das Ende der Verbrennung wird die Sauerstoffzuleitung durch g abgesperrt und jene durch e dafür geöffnet.

Bei regelrechtem Gange muß die Kohle ruhig fortglimmen, ohne zu flammen; es darf keine Spur von Rauch in der Flasche N zum Vorschein kommen, und muß sowohl die Mineralkohle, als auch die Zuckerkohle vollständig ausbrennen. Selbst bei ganz richtiger Füllung und Zusammenstellung des Apparates gehört aber immer noch gewisse Uebung dazu, die Verbrennung tadellos zu Ende zu führen.

Während der Verbrennung wird nach Auslauf von je 2 Liter aus dem großen Aspirator das Thermometer T_7 abgelesen und sodann der Mischer einige Male auf und ab bewegt. Ist die Kohle auf beiden Feuerherden ausgebrannt, so werden die Sauerstoffzuleitungen abgesperrt und die beiden Aspiratoren außer Thätigkeit gesetzt. Man mischt jetzt so lange, bis die beiden inneren Thermometer T_1 und T_2 gleiche Temperatur zeigen, wartet, bis keine Temperaturerhöhung mehr stattfindet und liest alsdann alle Thermometer (einschließlich T_3 für Lufttemperatur und T_{10} für die Temperatur des Gases im großen Aspirator) der Reihe nach ab. Dann werden die Thermometer T_1 und T_2 entfernt und die beiden Spiegel abgenommen. Die Deckplatte wird mittelst des Getriebes langsam gehoben, der Holzkübel zurückgeschoben, das Mantelgefäß geöffnet und die Platinkammer aus einander genommen. Das Gefäß C wird mit Hülfe eines Hebers entleert, trocken ausgewischt und ist sodann zur neuerlichen Beschickung mit Wasser von der Lufttemperatur bereit. Desgleichen wird das Mantelgefäß B innen und außen abgetrocknet, das Schlangenrohr ausgeblasen und der Mischer, sowie die Unterseite des Gefäßes H von dem anhaftenden Condensationswasser befreit.

Nachdem die Gasmenge in den beiden Aspiratoren abgelesen ist, wird O durch den Hahn a so weit mit Wasser gefüllt, daß bei β Oel zum Vorschein kommt. Das im kleinen Aspirator P befindliche Gas wird analysirt. Das abgesaugte Gas bestand durchschnittlich aus:

50 bis 60 Proc.	Kohlensäure,
0,2 bis 0,8 „	Kohlenoxyd,
10 bis 15 „	Sauerstoff,
30 bis 40 „	Stickstoff.

Ein Versuch mit 5,016 g Wilczek-Ostrauer Steinkohle und 2,75 g Zuckerkohle ergab so:

	Wasserwerth		Temp.-zunahme		W.-E.
Wärmeabgabe an das innere Gefäß C	5491	×	10,49	=	57600,6
„ „ „ obere Gefäß H	460	×	3,78	=	1738,8
„ „ „ äußere Gefäß E	5115	×	0,20	=	1023,0
Wärmeverlust durch Bildung von Kohlenoxyd	2403	×	0,13	=	312,4
„ „ das abziehende Gas				=	57,6
					60 732,4
Durch die Zuckerkohle entwickelt	(7982	×	2,75)	=	21 950,5
Für die Mineralkohle als Rest				=	38 781,9

$$38\,781{,}9 : 5{,}016 = 7732 \text{ W.-E.},$$

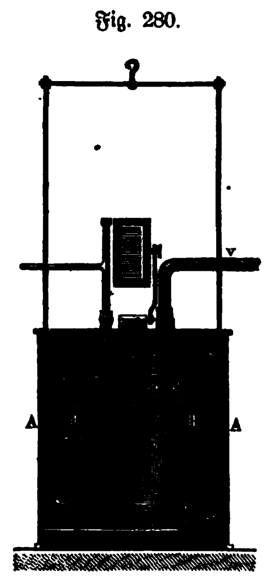
während die gewöhnliche Dulong'sche Formel nur 7295 W.-E. ergiebt nach folgender Elementarzusammensetzung der Kohle:

Kohlenstoff	77,06
Wasserstoff	4,50
Sauerstoff	11,22
Stickstoff	0,19
Wasser	2,91
Asche *)	4,12
	100,00

*) Der Schwefel, welcher zum weitaus größten Theile als FeS_2 zugegen ist, wurde als Bestandtheil der Asche aufgefaßt.

Die Kohlen wurden mit dem ursprünglichen Wassergehalte verbrannt, die latente Wärme des im Calorimeter verflüssigten Wassers aber nicht mit berechnet. Da ein Theil des Wassers mit den Gasen dampfförmig entwichen ist, so gelten die angegebenen Werthe, genau genommen, weder für flüssiges noch, was besser der Praxis entspricht, für gasförmiges Wasser als Verbrennungsproduct.

Fig. 280.



Die Verbrennungsproducte werden hier nur unvollständig bestimmt, was um so bedenklicher erscheint, als so große Mengen Zuckerkohle zugesetzt werden, deren Zusammensetzung doch kaum völlig gleichmäßig sein wird. Der scheinbare Vorzug, daß etwa 5 g Kohle ziemlich vollständig verbrannt werden, wird dadurch, sowie durch die lange Versuchsdauer, wieder mehr als ausgeglichen, da es während der 60 Minuten nicht ohne Wärmeausgleich mit der Umgebung abgehen kann. Daß außerdem der Apparat recht theuer ist, möge nur nebenbei erwähnt werden.

Gottlieb[1]) verwendet zur Bestimmung des Brennwerthes von Holz eine aus dünnem Kupferblech hergestellte Verbrennungskammer *a* (Fig. 280) mit oberem, 9 cm weitem Messingrand, in welchen der kupferne, ebenfalls mit Messingrand versehene Deckel *b* eingeschraubt werden kann. Das Rohr *d* ist oben mit einer Glasplatte bedeckt, in das Rohr *f* wird das Rohr *g* eingesetzt, welches zwischen den beiden Ansätzen des dünnen Kupferrohres *s* durch eine Kupferplatte getrennt ist. Ueber das Rohr *c* wird das Kupferrohr *h* geschoben, welches in die 6 cm breite Platinschale ragt. Die Verbrennungskammer ruht auf einem Dreifuß in dem Kupfergefäße *A*, durch dessen getheilten Deckel die drei Röhren, ein Rührer und ein Thermometer gehen. Das Kupfergefäß *A* ist zur Isolirung mit zwei Messingcylindern umgeben.

---

[1]) Journ. prakt. Chem. 28, *385.

Die Holzprobe wird in die Platinschüssel gelegt, der Deckel aufgeschraubt, die Verbrennungskammer in das Wassergefäß *A* gesetzt, durch das Rohr *k* Sauerstoff eingeleitet und durch Rohr *d* ein kleines Stückchen glühender Kohle eingeworfen. Die Verbrennungsgase entweichen oben durch das Rohr *f*, gehen durch das Schlangenrohr *s* nach unten, steigen wieder nach oben und entweichen durch das Rohr *gv*.

Diese Gase wurden nicht untersucht, da es Gottlieb nicht gelang, die gebildete Kohlensäure zu binden, wohl aber wurde die Elementarzusammensetzung einer besonderen Probe in gewöhnlicher Weise bestimmt. Zu jeder Verbrennung wurden 1 bis 2 g lufttrockenes, geraspeltes Holz verwendet und der Wassergehalt in einer besonderen Probe durch Trocknen bei 115° bestimmt. Gottlieb meint, dieser Wassergehalt habe auf den Brennwerth des Holzes keinen Einfluß, da ein Versuch mit lufttrockenem und wasserfreiem Buchenholz, auf dieselbe Menge Trockenstoff berechnet, dieselbe Zahl ergeben hätte.

Letztere Angabe kann nicht richtig sein, da doch für je 1 g in der Schlange *s* verflüssigten Wassers 610 W.-E. latente Wärme frei werden. Die von Gottlieb angegebenen Brennwerthe für Holz [1]) sind daher mit Vorsicht aufzunehmen. Uebrigens werden Brennwerthbestimmungen von Steinkohlen in diesem Apparate um so weniger brauchbare Zahlen liefern, als die Verbrennungsproducte nicht untersucht werden.

Scheurer-Kestner verbrannte, wie bereits S. 153 erwähnt, etwa 0,4 g der zu untersuchenden Probe in einem Gasgemische aus 60 Proc. Sauerstoff und 40 Proc. Stickstoff. Nach Beendigung des Versuches wurde die Platinschale sammt Rohr gewogen, der rückständige Kohlenstoff an der Luft verbrannt und durch nochmaliges Wägen die Menge des nicht verbrannten Kohlenstoffes und die der Asche gefunden. Diese nicht verbrannte Kohle wurde mit 8080 W.-E. in Rechnung gesetzt. Die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure wurde nicht bestimmt, der unverbrannt entwichene Wasserstoff mit 34 600 W.-E., das Kohlenoxyd mit 2403 W.-E. in Rechnung gesetzt. Für Holzkohle (welche jedoch nicht analysirt wurde, vgl. S. 386) wurden auf diese Weise folgende Werthe erhalten:

Angewendete Menge nach Abzug der Asche mg	Geb. Kohlenoxyd mg	Wärmeeinheiten für 1 g	
		ohne Kohlenoxyd	mit Kohlenoxyd
995,3	293,0	7575	8098
722,5	95,6	7633	8097
346,0	22,0	7890	8107
382,0	57,0	7850	8110
			Mittel 8103

Ein Versuch mit Steinkohle von Ronchamp ergab folgende mittlere Zusammensetzung:

[1]) Fischer's Jahresber. 1885, 355.

Kohlenstoff	68,65
Wasserstoff	3,97
Sauerstoff	4,75
Stickstoff	1,06
Asche	20,80
Wasser	0,77
	100,00

Der damit angestellte calorimetrische Versuch lieferte:

Kohle mg	Asche mg	Asche Proc.		Wärmeeinheiten für 1 g brutto	Wärmeeinheiten für 1 g aschenfrei
			C = 90		
383	47,7	12,49	CO = 36	7809	8921
			H = 0		
			C = 149,5		
430,5	71,9	16,74	CO = 32,0	7412	8898
			H = 0,3		
			C = 55,6		
352,3	51,9	14,74	CO = 35,8	7559	8865
			H = 0,2		

Die Kohle enthielt 0,61 Proc. Wasser.

In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der sämmtlichen Versuche zusammengestellt:

Herkunft der Kohlen	Zusammensetzung der Kohlen: Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Asche	Wasser	aschenfreie Kohle Koksausbeute	1 kg Kohle giebt Wärmeeinheiten: rohe Kohle	aschenfrei	Wassergehalt der im Calorimeter verbrannten Kohle
Ronchamp	76,46	4,39	3,05	1,09	15,02	—	76,62	7976	9163	0,58
Desgl.	73,10	3,75	4,87	1,00	16,19	1,09	—	7775	9117	—
Desgl.	76,23	4,06	5,91	1,00	12,80	—	75,10	7825	9081	0,66
Desgl.	68,65	3,97	4,75	1,06	20,80	0,77	79,4	7635	8946	0,61
Saarbrücken: Duttweiler	71,25	4,10	9,65		13,25	1,75	67,3	7685	8724	—
Saarbrücken: Altenwald	69,30	4,26	10,40		13,50	2,54	66,79	7400	8633	—
Saarbrücken: Heinitz	70,33	4,30	12,01		11,57	1,79	65,01	7527	8487	—
Saarbrücken: Friedrichsthal	67,81	4,19	14,30		12,70	1,00	62,16	7582	8457	—
Saarbrücken: Luisenthal	64,69	3,94	15,52		12,28	3,57	—	7036	8215	—
Saarbrücken: Sulzbach	73,27	4,56	10,09		10,46	1,63	—	7558	8451	—
Saarbrücken: v. d. Heydt	70,64	4,54	11,65		10,46	2,71	—	7703	8462	—
Blanzy, Montceau	66,60	4,43	13,72		10,28	4,97	—	7067	8325	—
Desgl. anthracitisch	67,04	3,61	6,39		20,95	2,01	—	7123	9100	—
Creusot	89,38	3,46	3,74		3,63	1,79	—	8949	9412	—

Neuerdings hat Scheurer-Kestner[1]) wieder Versuche mit Kohle von Ronchamp (I.) und Ruhrkohle der Zeche Altendorf (II.) ausgeführt. Die bei 100° getrocknete Kohle hatte, frei von Asche berechnet, folgende Zusammensetzung:

	I.	II.
Kohlenstoff	89,09	89,92
Wasserstoff	5,09	4,11
Stickstoff	1,30	1,00
Schwefel	1,03	1,00
Sauerstoff	3,49	3,97

Die calorimetrische Bestimmung ergab bei der Verbrennung in 2 Thln. Sauerstoff und 1 Thl. Stickstoff:

	I.		II.	
	mg	W.-E.	mg	W.-E.
Verwendete Kohlenmenge, aschenfrei	450,7	—	513,1	—
Vom Calorimeter aufgenommen	—	3572	—	4210
Unverbrannte Kohle	30,5	246	17,7	143
Desgl. Wasserstoff	1,3	43	0,3	10
Desgl. Kohlenoxyd	105,9	254	132,0	317
Zusammen		4115		4680
Berechnet auf 1 g aschenfreie Kohle		9130		9121
Nach der Dulong'schen Formel		8827		8497
Zwei weitere Versuche mit Ruhrkohle gaben		9083	und	9129

Die Ronchamp-Kohle hatte 2,82 bis 18,6 Proc. Asche, die zur Elementaranalyse verwendete Ruhrkohle enthielt wasserfrei im Mittel 1,58 Proc. Asche, die drei im Calorimeter verwendeten Proben ergaben 1,79, 0,79 und 1,03 Proc. Asche (vgl. S. 383).

Hieraus ergiebt sich, daß auch bei den Brennwerthbestimmungen kleine Ungenauigkeiten unterlaufen sind, so daß die gefundenen Werthe nicht ganz zuverlässig sind. Mit den Resultaten der Münchener Heizversuchsstation (S. 382) können sie natürlich gar nicht verglichen werden, da dieses überhaupt keine Brennwerthbestimmungen waren (S. 383).

Wie bereits Seite 159 erwähnt, erzielt Verf. dadurch eine wesentlich bessere Verbrennung, daß er die Gase nach unten abziehen läßt[2]). Um nun bei Stein-

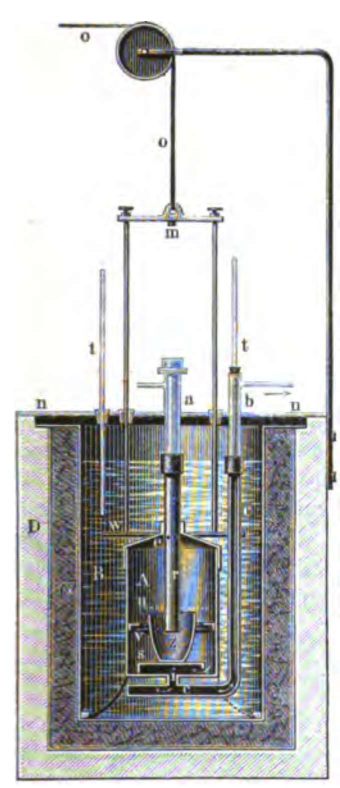
[1]) Compt. rend. 100, 908 u. 1298; Bull. de Mulhouse 1885, 336 u. 375.

[2]) Fischer's Jahresber. 1885, 1208. Um den Wasserwerth des Apparates zu bestimmen, wurde derselbe völlig zusammengestellt mit 1500 g Wasser von höherer oder niederer Temperatur gefüllt. Z. B. Temperatur der Luft: 14,50°, des Wassers: 20,50°, die des Calorimeters:

Leer	14,64
Gefüllt, nach 2 Minuten	20,09
„ „ 4 „	20,02
„ „ 6 „	19,97
„ „ 8 „	19,93
„ „ 10 „	19,90
„ „ 12 „	19,86
„ „ 14 „	19,84
„ „ 16 „	19,81

kohlenuntersuchung auch den gebildeten Koks besser zu verbrennen, ist das Sauerstoffzuführungsrohr *a* (Fig. 281) durch ein aus dünnem Platinblech gebogenes Rohr *r* verlängert, welches oben einige kleine Löcher *e* besitzt, damit auch hier etwas Sauerstoff austritt. Der Platintiegel *z* ist mit einem Platindrahtnetz *u* bedeckt. Die bei der Verbrennung der Kohlenprobe entwickelten Gase steigen somit durch das Platinsieb auf, wärmen den durch Rohr *r* zugeführten Sauerstoff vor, mischen sich mit dem durch die kleinen Oeffnungen im Rohre *r* eintretenden Sauerstoff und werden durch das ringförmige Blech *v* gezwungen, wieder durch das überragende heiße Drahtnetz *u* an der glühenden Tiegelwand vorbei nach unten durch Oeffnung *i* zu entweichen. Die Abkühlung im Boden *c* und Rohr ist so vollständig, daß die Gase mit kaum 0,1° über die Temperatur des Kühlwassers durch Rohr *b* entweichen, um in der S. 161 angegebenen Weise untersucht zu werden.

Fig. 281.



Bei Holzkohlen, Torf u. dergl. bleibt im Tiegel kein brennbarer Rückstand. Um die bei **Steinkohle** bleibende kohlehaltige Asche untersuchen zu können, kleidet man den unteren Theil des Tiegels mit dünnem Platinblech oder Asbestpapier aus, welches nach beendeter Verbrennung mit dem darauf befindlichen Rückstande in ein Verbrennungsrohr geschoben wird, um im Sauerstoffstrome die brennbaren Theile in Kohlensäure und Wasser überzuführen, welche gewichtsanalytisch bestimmt werden.

Zu berücksichtigen ist ferner, daß ein Theil des vorhandenen und gebildeten

---

Nach 6 Minuten war also der Wärmeausgleich beendet. Die Wärme nahm dann bei jeder Ablesung um 0,03° ab. Hätte dieser Wärmeverlust nicht stattgefunden, so würde die Temperatur nach 6 Minuten 20,03° betragen haben (die ersten 2 Minuten dürfen wohl nicht berechnet werden). Um somit den Apparat von 14,64 auf 19,97° zu erwärmen, wurde das Wasser von 20,50 auf 19,97 bezw. 20,03° abgekühlt. Der Wasserwerth ist demnach $(0,47 \times 1500) : 5,33 = 132$ W.-E. Im Mittel von 5 in verschiedener Weise ausgeführten Versuchen ergab sich die Zahl 124. Der Wasserwerth des mit 1500 g gefüllten Apparates beträgt somit 1624 W.-E.

Will man den Wärmeausgleich des Apparates mit der äußeren Luft nicht in Rechnung ziehen, so bringt man bekanntlich die Temperatur desselben so viel unter die der Luft, wie sie nach dem Versuche höher ist.

Wassers im Kühlrohre verflüssigt wird, ein Theil aber gasförmig entweicht. Je nachdem der Brennwerth auf flüssiges oder dampfförmiges Wasser bezogen wird, müssen daher für je 1 g Wasser 610 W.-E. zugezählt oder abgezogen werden, was anscheinend bisher übersehen ist (vergl. S. 397). Nach beendeter Verbrennung giebt die Gewichtszunahme der Chlorcalciumröhren die Menge des gasförmigen Wassers. Die Verbrennungskammer wird nun, ohne vorher geöffnet zu werden, wieder mit den Chlorcalciumröhren verbunden, vorsichtig auf etwa 60° erwärmt und trockene Luft hindurch geleitet, welche den Wasserdampf zur Wägung in das Chlorcalciumrohr führt.

Bei Ausführung des Versuches wiegt man die Absorptionsröhren mit Chlorcalcium und Natronkalk, verbindet sie in entsprechender Weise, wiegt die bei 110° im Stickstoff getrocknete Kohle im bedeckten Tiegel ab, setzt den Tiegel nach Abnahme des Deckels rasch in die trockene Verbrennungskammer *A*, schraubt den Deckel auf[1]), setzt in das Calorimetergefäß und verbindet Rohr *b* mit den Absorptionsröhren, Rohr *a* mit der Sauerstoffzuführung. Nun gießt man in das Calorimetergefäß 1500 g Wasser, legt die Deckel auf, setzt den Rührer in Bewegung und liest nach etwa fünf Minuten die Temperatur ab. Man läßt dann minutlich 1 bis 1,5 Liter trockenen Sauerstoff eintreten, wirft durch Rohr *a* einen glühenden, 1 bis 2 mg schweren Holzkohlensplitter ein und beobachtet unter fortwährendem Rühren die Thermometer mit dem Fernrohre. Ist nach vier bis fünf Minuten die Verbrennung beendet, so mäßigt man den Gasstrom. Nach weiteren vier bis fünf Minuten sind die Verbrennungsproducte in die Absorptionsrohre übergeführt und ist der Wärmeausgleich erfolgt, so daß die Endtemperatur abgelesen werden kann. Die Absorptionsröhren werden gewogen, das verflüssigte Wasser und der Verbrennungsrückstand in angegebener Weise untersucht.

Verwendet 874 mg Kohle.
Erhalten:

Kohlensäure . . . . 2490 mg,	entspr. Kohlenstoff	679 mg
Kohlenoxyd . . . . 32 „	. . . .	14 „
Kohlenstoff im Rückstande	. . . .	16 „
		709 mg
Wasser, gasförmig 104 mg / „ flüssig . . 126 „	entspr. Wasserstoff	25,5 mg
Wasserstoff in den Gasen	. . . .	0,2 „
„ im Rückstande	. . . .	0,5 „
		26,2 mg

Daraus berechnet sich folgende Zusammensetzung der Kohle, verglichen mit der Elementaranalyse:

	Calorimeter	Elementaranalyse
Kohlenstoff	81,12	80,91
Wasserstoff	3,00	3,11
Stickstoff	—	0,91
Sauerstoff	—	7,14
Schwefel	—	0,51
Asche	7,21	7,42

[1]) Das Gewinde wird mit einem Gemisch von geschmolzenem Paragummi und Vaseline gefettet.

Die Lufttemperatur betrug 14,9°, die Temperatur des Calorimeters 12,81°, die nach 9 bis 10 Minuten erreichte Endtemperatur 16,86°. Danach ergiebt sich folgende Wärmeberechnung:

Vom Calorimeter aufgenommen	$4{,}05 \times 1624 = $	6577 W.-E.[1]
Für Kohlenoxyd $32 \times 2{,}4 = 77$		
„ Kohlenstoff $16 \times 8{,}1 = 130$	. . . . .	227 „
„ Wasserstoff $0{,}7 \times 28{,}8 = 20$		
„ die höhere specifische Wärme der Verbrennungsproducte (S. 267)		20 „
		6824 W.-E.

Für das verflüssigte Wasser sind abzuziehen $0{,}126 \times 610 = 77$ W.-E.; es bleiben 6747 W.-E. oder für 1 g Kohle $6747 : 0{,}874 = 7720$ W.-E. bezogen auf Wasserdampf von 15 bis 20° als Verbrennungsproduct, während die Dulong'sche Formel nur $(81{,}12 \times 8100 + 2{,}1 \times 28\,800) : 100 = 7175$ W.-E. giebt. Die Dulong'sche Formel ist demnach thatsächlich unbrauchbar. Mit 1,4 Proc. Wassergehalt erhält man $(7720 : 1{,}014) - (1{,}4 \times 6) = 7605$ W.-E. Im Mittel von drei Versuchen ergaben sich so 7630 W.-E.

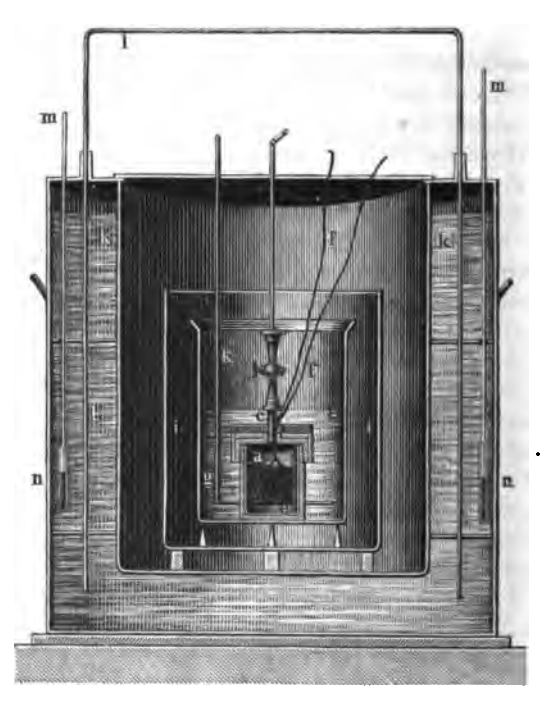
Die Verbrennung ist somit hier zwar nicht ganz vollständig; da aber die Verbrennungsproducte völlig bestimmt werden und der Brennwerth von Kohlenoxyd und Wasserstoff genau bekannt ist, so kann die dadurch möglichenfalls veranlaßte Ungenauigkeit um so weniger in Betracht kommen, als durch Vergleich mit der Elementaranalyse jeder nennenswerthe Fehler völlig ausgeschlossen ist. Will man übrigens auch den Rest der Kohle verbrennen, so braucht man nur durch ein enges Platinrohr eine kleine Wasserstoffflamme, deren Wärmeentwickelung leicht genau bestimmt werden kann, auf die Kohle zu leiten.

Der (S. 391) erhobene Einwand, daß derartige kleine Proben oft nicht dem wirklichen Durchschnitt entsprechen[2]), trifft keinesfalls zu. Bei der Elementaranalyse verwendet man ja noch kleinere Mengen. Wenn man, wie hier, aus einer größeren Durchschnittsprobe, etwa 1 kg, zwei Proben von je 1 g zu den calorimetrischen Bestimmungen sowie die zur Elementaranalyse erforderlichen Proben nimmt, so hat man in der Uebereinstimmung der Ergebnisse viel mehr Sicherheit, das Richtige getroffen zu haben, als wenn man etwa 100 g zur Verbrennung verwendet, in Folge dessen aber nicht im Stande ist, die Verbrennungsproducte und Rückstände genau zu bestimmen, so daß die Controle mit der Elementaranalyse fortfällt. —

[1]) Die specifische Wärme des Wassers bei 15° als 1 angenommen, wegen der so sehr widersprechenden Ansichten über diese Größe vergl. S. 65. Nach den neuen Berechnungen von A. Wüllner (Annal. d. Phys. und Chem. 1880, 10, 287) ergaben die Versuche von Münchhausen für die wahre specifische Wärme des Wassers die Gleichung $k = 1 + 0{,}000425\, t$, so daß der Temperaturcoëfficient fast um die Hälfte größer ist als früher. Für 15° würde man also 1,006 erhalten. Berücksichtigt man diese Zahl, so würde statt 6577 W.-E. 6616 zu setzen sein. — [2]) Vergl. auch Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1885, 928.

Neuere Vorschläge [1]). Die Vorrichtung von Berthelot [2]), ursprünglich für die Verbrennung von Gasen unter Druck bestimmt, besteht wesentlich aus einem innen verplatinirten Stahlcylinder *a* (Fig. 282). Die im Platinkorbe *e* befindliche Kohlenprobe wird durch die elektrische Leitung *f* entzündet, nachdem durch Rohr *c* die erforderliche Menge Sauerstoff eingepreßt ist. Das Platingefäß *g* ist von drei weiteren Gefäßen *i k n* umgeben. Thermometer *m* und Rührer *l* vervollständigen die Vorrichtung in bekannter Weise.

Fig. 282.



Nur wenige Laboratorien werden im Stande sein, mit diesem Apparate zu arbeiten, namentlich weil die Dichthaltung des Stahlcylinders *a* jedenfalls sehr schwer ist.

Nach W. Thomson [3]) steht der, die Kohlenprobe enthaltende Platintiegel *a* (Fig. 283) auf dem Thonuntersatz *BH*. Die 16 cm lange und 4 cm weite Glasglocke *C* ist bei *e* mit dem Sauerstoffzuführungsrohre *E* verbunden. Die

[1]) Auf die Vorrichtungen zur Bestimmung des Brennwerthes flüchtiger organischer Stoffe von J. Thomsen (Ber. d. chem. Ges. 1882, 2996 u. 3001) und Louguinine (Annal. chim. phys. 1880, 20, 558) möge verwiesen werden. — [2]) Compt. rend. 91, *188; 99, 187 u. 1097; 100, 440; Fischer's Jahresber. 1885, 354; Engineering 42, 507. — [3]) Engineering 42, 507; Journ. Soc. Chem. Ind. 1886, 581; Zeitschr. f. d. chem. Ind. 1887, 39.

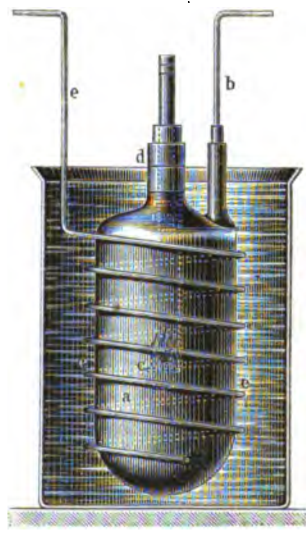
Zündung geschieht durch einen mit chlorsaurem Kalium getränkten Faden, die Verbrennungsgase treten am Deckel *H* ins Wasser und werden durch die Kupfersiebe *n* mit dem Kühlwasser des Becherglases *D* in möglichst innige Berührung gebracht.

Dieser Apparat ist, wenigstens zur Brennwerthbestimmung von Kohlen und Koks, völlig untauglich, da eine vollständige Verbrennung derselben auf

Fig. 283.




Fig. 284.



diese Weise nicht zu erzielen ist, die Verbrennungsgase aber nicht untersucht werden können. Einer Brennwerthbestimmung ohne Untersuchung der Verbrennungsproducte fehlt aber jede Beweiskraft, sie ist daher werthlos.

Berthelot[1]) verbrennt die Probe im Platintiegel *c* (Fig. 284), welcher durch Ansatz *d* eingeführt wird. Der Sauerstoff tritt durch Rohr *b* zu, die Verbrennungsgase entweichen durch das unten angesetzte gläserne Kühlrohr *e*.

W. Alexejew[2]) ändert dieses Verfahren dahin, daß er die Kohlenprobe nicht gepulvert, sondern gekörnt in eine 4 bis 6 mm weite und 4 bis 5 cm hohe Hülse aus Platindrahtnetz füllt. Die Verbrennungsproducte werden nicht untersucht. Da außerdem auf diese Weise eine einigermaßen zutreffende Durchschnittsprobe der Kohle nicht zu erzielen ist, so ist das Verfahren durchaus unzuverlässig[3]).

[1]) Essai de mécanique chimique 1, *246; Engineering 42, *507. — [2]) Berichte deutsch. chem. Ges. 1886, *1557; Fischer's Jahresber. 1886, *387. — [3]) Verf. ist mit Versuchen beschäftigt, ob sich überhaupt aus Glas ein brauchbarer Apparat herstellen läßt. Er wird darüber in der Zeitschr. f. d. Chem. Ind. 1887, berichten.



Wärmetönung.

Wärmeeinheit. Als Einheit für die Berechnungen der Wärmeentwickelungen und Wärmebindungen gilt für wissenschaftliche Zwecke die Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 g Wasser von 0 auf 1° zu erwärmen; dieselbe wird mit *cal.* bezeichnet. Berthelot u. A. verwenden eine 1000 mal größere Einheit, welche mit *Cal.* bezeichnet wird. Ostwald dagegen empfiehlt als Wärmeeinheit (K) diejenige Wärmemenge, welche 1 g Wasser von 0 bis 100° erwärmt. Unter Berücksichtigung der specifischen Wärme des Wassers (S. 65 und 403) ist $K = 100{,}6$ *cal.* bezw. 100 mal so groß als die specifische Wärme des Wassers zwischen 15 und 18°.

Für technische Zwecke wählt man als Gewichtseinheit 1 *k* Wasser und da die Brennwerthbestimmungen thatsächlich bei 15 bis 20° ausgeführt werden, so ist für vorliegenden Zweck eine technische Wärmeeinheit (w) diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 *k* Wasser (bei etwa 15°) um 1° zu erwärmen; eine Umrechnung auf die wissenschaftliche Wärmeeinheit (Wasser von 0 bis 1°) ist wohl nie erforderlich. 100 w werden passend mit *hw*[1]) (Hektowärmeeinheit) bezeichnet[2]).

Brennwerth und Bildungswärme. Grundlegend für die weiteren Berechnungen ist der Brennwerth von Kohlenstoff und Wasserstoff.

Favre und Silbermann[3]) fanden mit dem, S. 152 beschriebenen, Calorimeter in fünf Versuchen für 1 *k* Holzkohle 8035 bis 8113, im Mittel 8086 w, dann in sechs Versuchen 8070 bis 8089, im Mittel 8080 w. Ferner für

Zuckerkohle	8040 w
Gasretortenkohle	8047 „
Hochofengraphit	7762 „
Graphit	7797 „
Diamant	7770 u. 7824 „[4]).

[1]) Entsprechend 1 Hektoliter: 1 hl = 100 l, bezw. 1 $hk = 100\,k$. — [2]) Somit 1 $hw = 100\,w = 1000\,K = 100$ *Cal.*; vergl. Fischer's Jahresber. 1883, 457; Zeitschr. f. angew. Chem. 1893, 679. — [3]) Ann. chim. phys. (1852) 34, 411 bis 424. — [4]) Specifische Wärme nach Regnault:

Holzkohle	0,2415,
Retortengraphit	0,2036,
Graphit	0,2019,
Diamant	0,1496.

Scheurer-Kestner (S. 398) fand für Holzkohle 8103 *w*, Schwackhöfer (das. S. 395) für Zuckerkohle (mit 97,27 Proc. Kohlenstoff) 7946 bis 8009 *w*.

Berthelot und Petit[1]) fanden mit der calorimetrischen Bombe (S. 404) für

Holzkohle	8137 *w*
Graphit, Krystalle aus Gußeisen . .	7901 „
Diamant	7859 „

Favre und Scheurer geben keine Analyse der verwendeten Holzkohle; Berthelot[2]) gibt an, die Kohle sei bei Rothgluth mit Chlor gereinigt, frei von Wasserstoff und aschenfrei berechnet. Die von Ersteren verwandten Proben enthielten jedenfalls noch Sauerstoff und Wasserstoff, selbst die mit Chlor behandelte wird wohl nicht völlig frei davon gewesen sein. Der Brennwerth des wirklichen amorphen Kohlenstoffes ist demnach noch nicht bekannt, doch kommt der von Berthelot angegebene Werth dem wirklichen Brennwerth jedenfalls am nächsten.

In der wissenschaftlichen Thermochemie[3]) wird die Verbrennungswärme des Diamant zu Grunde gelegt, bezogen auf das Atomgewicht ($12 \times 7859\,w = 943\,hw$), in der technischen Chemie meist die des amorphen Kohlenstoffes. Nehmen wir hierfür 8100 bezw. für $12\,k = 972\,hw$ oder 8137 bezw. für $12\,k = 976\,hw$, so würden sich z. B. ergeben in *hw*:

	I.	II.	III.
$C + O_2 = CO_2 =$	943	972	976
$CO + O = CO_2 =$	682	682	682
$C + O = CO$[4]) $=$	261	290	294

Da in den Feuerungen keinesfalls Diamantkohlenstoff, wohl aber Holzkohle und Koks vorkommen, so wird man der Wirklichkeit wohl am nächsten kommen, wenn man 8137 *w* bezw. 976 *hw* für 12 *k* Kohlenstoff rechnet.

Der Brennwerth des Wasserstoffes wurde, wie bereits S. 258 erwähnt, wiederholt bestimmt. Neuerdings fand Witz[5]) mit der Berthelot'schen Bombe 34138 und 34184 *w* für 1 *k*, Berthelot und Matignon[6]) für $H_2 = 681{,}5\,hw$ für constantes Volum bezw. 689,9, abgerundet 690 *hw* für constanten Druck, somit 34500 *w* für 1 *k* Wasserstoff bezw. auf flüssiges Wasser und 29100 *w* bezw. auf Wasserdampf von 20°. Auch für Kohlenoxyd und Methan sind die Werthe von Berthelot (S. 261) am wahrscheinlichsten.

Der Brennwerth für Benzoldampf ist nach Thomsen 7993 *hw*, nach Stohmann (Journ. prakt. Chem. **40**, 77) 7792 *hw*, die Verdampfungswärme 88,23 *hw*, somit Brennwerth des Benzoldampfes 7704 *hw*; früher

---

[1]) Ann. chim. phys. (1890) **18**, 89 bis 103. — [2]) Berthelot, Praktische Anleitung zur Ausführung thermochemischer Messungen; deutsch von Siebert (Leipzig 1893) S. 84. — [3]) Vergl. W. Ostwald, Chemische Energie (Leipzig 1893). S. 172. — [4]) Die Wärmeentwickelung bei der Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd läßt sich nicht messen; sie wird aus der vollständigen Verbrennung (s. o.) durch Abzug des Brennwerthes des Kohlenoxyds (682) berechnet. — [5]) Compt. rend. **99**, 187; **100**, 440. — [6]) Compt. rend. **116**, 1335.

(das. 33, 256) für Benzoldampf 7875 *hw*, während Berthelot 7832 *hw* fand. Man wird daher 7860 *hw* rechnen können oder 7536 bezw. auf Wasserdampf von 20°.

Die Berechnung der Vorgänge in Gaserzeugern u. dergl. bezw. der Bildungswärme werden zur besseren Uebersicht auf Atom- bezw. Moleculargewichte in Kilogrammen bezogen, somit nach S. 408 für *C* 976 *hw* eingesetzt.

Folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Brennwerthe der wichtigeren Stoffe nach Favre und Silbermann[1]), Stohmann[2]) und Berthelot[3]):

	Favre	Stohmann		Berthelot	
	1 *k* = *w*	1 Mol. = *hw*	1 *k* = *w*	1 Mol. = *hw*	1 *k* = *w*
Methylalkohol, CH_4O	5 307	1 706	5 331	—	—
Aethylalkohol, C_2H_6O	7 184	3 246	7 056	—	7 068
Schwefelkohlenstoff, CS_2	3 400	—	—	2 469	3 250
Benzol, C_6H_6	—	7 798	9 997	—	9 949
Benzol, gasfrei	—	7 875	10 096	—	10 041
Phenol, C_6H_6O	—	—	—	7 365	—
Naphtalin, $C_{10}H_8$	—	12 336	—	12 439	—
Anthracen, $C_{14}H_{10}$	—	16 943	—	17 062	—
Paraffin	—	—	11 140	—	—
Wachs	10 496	—	—	—	—
Talg (Ochs, Schaf)	—	—	9 500	—	—
Rüböl	—	—	9 619	—	—
Stearinsäure, $C_{18}H_{36}O_2$	9 717	27 118	9 550	—	—
Cellulose[4]), $C_6H_{10}O_5$	—	—	4 185	6 818	4 210
Schwefel (zu SO_2)	2 221	—	—	693	2 170

Man erleichtert die Uebersicht aber ganz bedeutend, wenn man alle Gase nicht nach dem Gewicht, sondern nach dem Volum in Rechnung setzt. Schon vor etwa 20 Jahren zeigte Verf.[5]), wie sehr manche stöchiometrische Berechnungen durch Einführung der Zahl 22,3[6]) vereinfacht werden können. Auch

[1]) Vergl. S. 152. — [2]) Zeitschr. f. physik. Chem. 1888, 29; Journ. f. prakt. Chem. 22, 223; 31, 273; 33, 464; 40, 77 u. 128; 42, 361; 45, 305; 49, 106. — [3]) Compt. rend. 90, 1240, 1449; 91, 188, 256, 737, 781; 99, 1097; 102, 1211, 1284; Bull. soc. chim. 35, 422. — [4]) Vergl. Fischer's Jahresber. 1893, 5. — [5]) Ferd. Fischer, Stöchiometrie (Hannover 1875). — [6]) Nach den Berechnungen von Lasch (Poggend. Ann. 3. Erg. 346) wiegt 1 Liter Sauerstoff in Berlin 1,430279 g, folglich

$$\frac{2 \times 15{,}96}{1{,}43028} = 22{,}32.$$

Von allen Gasen und Dämpfen ist daher

Mol.-Gew. in kg = 22,3 cbm,
„ „ g = 22,3 Liter,
„ „ mg = 22,3 ccm.

für die Berechnung des Brennwerthes von Dämpfen eignet sich diese Zahl vortrefflich [1]), sowie für manche thermochemische Berechnungen [2]). Bei der Verbrennung von Kohlenstoff: $C + O_2 = CO_2$, z. B. geben 12 kg Kohlenstoff mit 22,3 cbm Sauerstoff 22,3 cbm Kohlensäure; dagegen bei der Kohlenoxydbildung: $C + O = CO$ geben 12 kg Kohlenstoff mit 11,15 cbm Sauerstoff 22,3 cbm Kohlenoxyd, oder 1 kg Kohlenstoff mit 4,43 cbm atmosphärischer Luft [3]) 5,35 cbm theoretisches Generatorgas. Beim Verbrennen von Kohlenstoff in atmosphärischer Luft muß daher die Summe von Kohlensäure und Sauerstoff 21 Proc. betragen, während für Wasserstoff

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

für je 4 kg Wasserstoff 22,3 cbm Sauerstoff verbraucht werden, um 36 kg Wasser zu bilden [4]). In derselben Weise wird auch der Brennwerth der Gase auf je 1 cbm berechnet, z. B. für Kohlenoxyd

$$68200 : 22,3 = 3058.$$

1 cbm Kohlenoxyd hat demnach einen Brennwerth von 3058 *w*. Darnach ergibt sich folgende Tabelle für den praktischen Gebrauch [5]):

Soll daher z. B. berechnet werden, wie viel Zink und Schwefelsäure zu 100 cbm Wasserstoff erforderlich sind, so ergibt sich nach

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2,$$
$$22,3 : 100 = 65 : xk \text{ Zink},$$
$$22,3 : 100 = 98 : xk \text{ Schwefelsäure}.$$

[1]) Fischer's Jahresber. 1882, 1143; 1887, 158. L. Meyer hat später (Ber. deutsch. Ges. 1889, 883) dasselbe Verfahren angewendet. — [2]) Fischer's Jahresber. 1888, 458.

[3]) Luft enthält auf 1 cbm Sauerstoff 3,76 cbm Stickstoff

„	„	„	2	„	„	7,52	„	„
„	„	„	3	„	„	11,29	„	„
„	„	„	4	„	„	15,05	„	„
„	„	„	5	„	„	18,81	„	„
„	„	„	6	„	„	22,57	„	„
„	„	„	7	„	„	26,33	„	„
„	„	„	8	„	„	30,10	„	„
„	„	„	9	„	„	33,86	„	„

[4]) Dieser Umstand ist für die Controle von Gasanalysen wichtig, wie Verf. (Fischer's Jahresber. 1887, 200) bei Besprechung der Gasanalysen des Schlesischen Dampfkesselvereins (Minsen) u. a. gezeigt hat. Für eine Kohle z. B. mit

Kohlenstoff	84 Proc.
Wasserstoff	4 „
Sauerstoff	8 „
Asche, Wasser u. dergl.	4 „

kommen bei der Verbrennung in Betracht für 1 kg 0,84 kg Kohlenstoff und 0,03 kg Wasserstoff. Für je 7 × 22,3 cbm Kohlensäure wird daher 0,75 × 22,3 cbm Sauerstoff für die Analyse verschwinden. Enthalten daher die Feuerungsgase 14 Proc. Kohlensäure, so müssen bei vollständiger Verbrennung im Mittel noch 5,5 Proc. Sauerstoff vorhanden sein. Nach dem Aufgeben frischer Kohle wird der Sauerstoffgehalt verhältnißmäßig geringer (4 bis 5 Proc.), nach der Entgasung aber höher (6 bis 7 Proc.) sein. Analysen, welche diesen Bedingungen nicht entsprechen, sind falsch und daher mit größerer Vorsicht (vergl. Fischer's Jahresber. 1887, 202) zu wiederholen; aus denselben Folgerungen zu ziehen, wie es z. B. Böckel (Zeitschr. f. angew. Chem. 1890, 599) that, ist mindestens unvorsichtig.

[5]) Vergl. Fischer's Jahresber. 1882, 1143.

	Mol.-Gew.	Wasser von 0° als Verbrennungsproduct		Wasserdampf von 20° als Verbr.-Prod.	
		1 Mol.	1 cbm	1 Mol.	1 cbm
		hw	*w*	*hw*	*w*
Benzoldampf, C_6H_6 . . .	78	7860	3 525	7536	33 800
Propylen, C_3H_6	42	5000	22 420	4676	20 970
Aethylen, C_2H_4	28	3412	15 300	3196	14 330
Methan, CH_4	16	2135	9 580	1919	8 610
Wasserstoff, H_2	2	690	3 094	582	2 610
Kohlenoxyd, CO	28	682	3 058	682	3 058

Die Bildungswärme einer Verbindung ergibt sich aus der Differenz der Verbrennungswärme derselben und der der Elemente. So ergaben die Bombenversuche von Berthelot und Matignon für constanten Druck:

	Verbrennungswärme	Bildungswärme
	hw	*hw*
Wasserstoff, H_2	690	—
Kohlenoxyd, CO	682	+ 261
Methan, CH_4	2135	+ 187
Aethan, C_2H_6	3723	+ 233
Acetylen, C_2H_2	3157	— 581
Aethylen, C_2H_4	3412	— 146
Propylen, C_3H_6	4993	— 94
Propan, C_3H_8	5284	+ 305

Bei der Berechnung der Bildungswärme ist hier der Kohlenstoff als Diamant (vergl. S. 408) berechnet, daher

$$C + O_2 = CO_2 + 943\,hw.$$

Wird aber Berthelot's Werth für amorphen Kohlenstoff angenommen:

$$C + O_2 = CO_2 + 976\,hw,$$

so ergeben sich folgende Verhältnisse:

	Brennwerth der Verbindung	Brennwerth der Elemente	Bildungswärme
CO	682	976	+ 294
CH_4	2135	2356	+ 221
C_2H_6	3723	4022	+ 299
C_3H_8	5284	5688	+ 404
C_2H_2	3157	2642	— 515
C_2H_4	3412	3332	— 80
C_3H_6	4993	4998	+ 5

Am auffallendsten ist der Unterschied beim Propylen; für die Theorie der Gasbildung sind diese Werthe aber wohl zutreffend. Jedenfalls wird bei der Bildung von Kohlenoxyd, Methan und Aethan aus den Elementen Wärme frei, bei der Bildung von Acetylen und Aethylen werden dagegen erhebliche

Wärmemengen gebunden. J. Thomsen[1]) fand (wenn C = 969,6 und H_2 = 683,6):

Name	Molecül	Verbrennungswärme	Bildungswärme	
			bei constantem Drucke	bei constantem Volumen
		hw	*hw*	*hw*
Methan	CH_4	2135	202	196
Aethan	C_2H_6	3733	257	245
Propan	C_3H_8	5335	308	299
Aethylen	C_2H_4	3348	— 42	— 47
Propylen	C_3H_6	4952	+ 8	— 4
Acetylen	C_2H_2	3106	—483	—483
Benzol	C_6H_6	8058	—190	—201

Obige Werthe von Regnault u. A. sind jedenfalls richtiger. Daraus ergibt sich folgende Tabelle für die Vergasung des Kohlenstoffes durch Kohlensäure und Wasser bezw. Wasserdampf:

Reaction	Wärme im Feuerraum	Brennwerth des erhaltenen Gases
$C + O_2 = CO_2$		
976	976	0
$C + O = CO$		
294	294	682
$C + CO_2 = 2CO$		
— 976 + 588	— 388	1364
$C + H_2O = CO + H_2$		
— 582 + 294	— 288	1264[2])
— 690 + 294	*— 396*	*1372*[3])
$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$		
— 1164 + 976	— 188	1164[2])
— 1380 + 976	*— 404*	*1380*[3])

Demnach wird bei der Vergasung des Kohlenstoffes nur durch freien Sauerstoff Wärme entwickelt, während bei gebundenem Sauerstoff Wärme gebunden wird (s. Vergasung).

---

[1]) Ber. deutsch. chem. Ges. 1880, 1321 und 2320; Thermochemische Untersuchungen (Leipzig 1886). — [2] Für Wasserdampf. — [3]) Für flüssiges Wasser.

Brennstoffe.

Brennstoffe im technischen Sinne nennt man alle die Stoffe, welche sich unter Licht- und Wärmeentwickelung mit dem atmosphärischen Sauerstoff vereinigen, d. h. verbrennen. Die wichtigsten festen Brennstoffe sind Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle; anhangsweise sind Stroh und Rinderdung zu erwähnen. Fette dienen fast nur als Leuchtstoffe; auch die fetten Oele, Erdöle, Theer u. dergl. flüssigen Brennstoffe dienen nur in beschränktem Maße als Heizstoffe.

Holz.

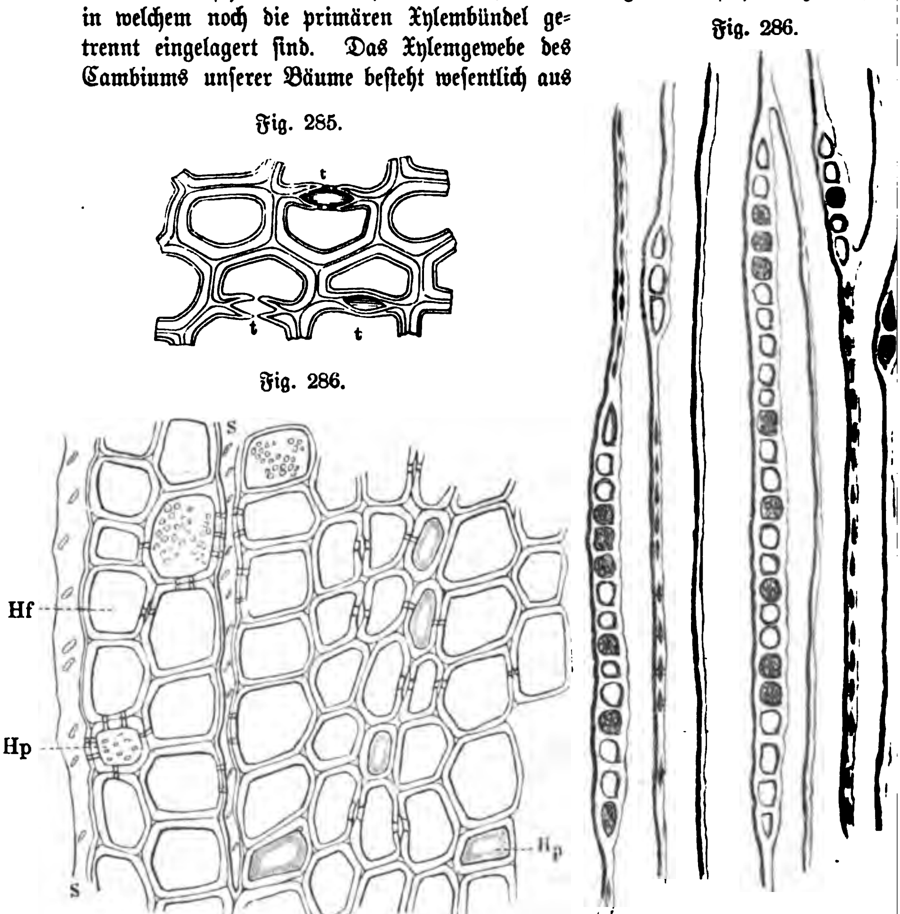
Holz ist der am längsten verwendete Brennstoff [1]), dessen Bedeutung neuerdings in den Culturstaaten durch die Kohle wesentlich eingeschränkt ist. Ueber die Wälder Europas werden folgende Angaben gemacht [2]):

	Gesammtfläche in 1000 ha	Forstungen und Holzungen in 1000 ha	Procente der Gesammtfläche
Europäisches Rußland . . .	551 964	200 000	36,9
Schweden	44 282	17 569	39,7
Deutschland	54 060	13 900	25,7
Oesterreich	30 002	9 777	32,5
Frankreich	52 840	9 388	17,7
Ungarn	32 311	9 168	28,4
Spanien	49 724	8 484	17,0
Norwegen	31 820	7 806	24,5
Italien	29 632	3 656	12,3
Rumänien	13 140	2 000	15,2
England	31 495	1 261	4,0
Serbien	4 859	969	19,9
Griechenland	6 469	850	13,1
Schweiz	4 139	781	18,9
Belgien	2 496	498	19,6
Portugal	8 962	471	5,3
Holland	3 297	230	7,0
Dänemark	3 957	190	4,8
	955 449	286 998	30,0

[1]) Holz als Baumaterial vergl. A. Mayer, Chemische Technologie des Holzes als Baumaterial (Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn) 1872; M. Paulet, Traité de la Conservation des bois (Paris 1876); R. Gottgetreu, Physische und chemische Beschaffenheit der Baumaterialien (Berlin 1880); Nördlinger, Die technischen Eigenschaften der Hölzer. — [2]) Fischer's Jahresber. 1888, 157.

Nach Chevandier beträgt der jährliche Zuwachs für 1 ha Bodenfläche im Schwarzwalde (Durchforstungsholz ungerechnet) 2900 kg trockenes Eichenholz, oder 3394 kg trockenes Fichtenholz, in den Vogesen 3650 kg Buchenholz. Danach ergeben sich für Deutschland jährlich etwa 50 Mill. Tonnen Holz, wovon etwa 40 Mill. Tonnen früher oder später verbrannt werden.

Holz besteht wesentlich aus secundärem Xylemgewebe, und nur im Innern bleibt ein verschwindender Rest von Mark, aus Grundgewebe bestehend, zurück, in welchem noch die primären Xylembündel getrennt eingelagert sind. Das Xylemgewebe des Cambiums unserer Bäume besteht wesentlich aus



Mikroskopische Schnitte durch das Holz der Fichte (Abies pectinata). A. Querschnitt, 200fache Vergr.; B. Tangentialschnitt, 75fache Vergr.; *S* Markstrahlen; *G* getüpfelte Holzzellen; *Hp* Holzparenchym.

langgestreckten prosenchymatischen Zellen, deren Längsrichtung parallel der Achse des betreffenden Stammtheiles läuft. Dazwischen finden sich bei unseren Coniferen sehr schmale Markstrahlen, während bei den Laubhölzern breitere Strahlen vorkommen, und dadurch dem Holzgewebe verschiedenen

Charakter verleihen. Noch mehr unterscheiden sich die Nadel- und Laubhölzer durch die Tüpfelzellen. Bei diesen blieben nur kleine punktförmige Stellen, Tüpfel genannt, von der Verdickung ausgeschlossen; ist die Membran sehr verdickt, so bilden diese Stellen Tüpfelkanäle; die gehöften Tüpfel der Nadelhölzer erscheinen, von der Fläche gesehen, von einem weiten Hofe umgeben. Die Tüpfel stehen nämlich immer an derselben Stelle, wo in der Nachbarzelle ein solcher sich befindet; bei den gehöften sind nur die beiden entsprechenden Tüpfel nicht von der ursprünglichen Membran verschlossen, sondern haben einen offenen linsenförmigen Raum zwischen sich, so daß die Membran hier wirklich durchbrochen ist, und die Zellhöhlen mit einander in Verbindung stehen. Fig. 285 zeigt solche Zellen mit durchschnittenen gehöften, mit *t* bezeichneten Tüpfeln. Bei den Coniferen besitzen nur die prosenchymatischen Holzzellen sehr schöne, kreisrund ausgebildete Tüpfel, die sich auf den den Markstrahlen zugekehrten Wandungen befinden und daher sichtbar sind, wie Fig. 286 zeigt, welche das Bild eines Quer- und Tangentialschnittes von Fichte (Abies pectinata) darstellt. Die Tüpfel bei den Laubhölzern sind weit unregelmäßiger von Vorkommen, Gestalt und Anordnung; Fig. 287 (a. f. S.) zeigt die mikroskopischen Schnitte durch das Holz der Buche (Fagus silvatica).

Alle Zellbildungen, hervorgegangen aus dem protoplasmareichen Cambium, verlieren bald ihren stickstoffhaltigen Inhalt und damit ihre Fähigkeit zu wachsen, sich zu theilen und überhaupt Neubildungen zu vollziehen, und bilden in diesem Zustande das fertige Holz. Von da bilden die Zellen nunmehr ein ausgedehntes capillares Röhrensystem, welches die Aufgabe übernimmt, das Wasser von der Wurzel in die Krone des Baumes hinaufzuleiten. Die langgestreckten, oben und unten sich spindelförmig schließenden dickwandigen, aber dennoch hohlen Zellen, sind in ihrem Durchmesser bei den meisten unserer Holzarten so gering, daß ihr Hohlraum auf einem feinen Querschnitt weder mit bloßem Auge, noch mit der Lupe erkannt werden kann; am ehesten ist dies der Fall bei Ahorn, Erle, Weide. Die Holzzellen bei den Nadelhölzern sind im Allgemeinen deutlicher erkennbar, bei einigen werden sie einem scharfen Auge, in den meisten Fällen durch die Lupe, deutlich erkennbar. Das dem Auge sichtbare Gefüge des Holzes nennt man im gewöhnlichen Leben Holzfaser.

In der Mitte des Baumstammes steht das Mark, welches bei älteren Bäumen oft vollständig verschwindet; von diesem oder in einiger Entfernung von demselben laufen strahlenförmig nach allen Seiten des Umfanges, häufig bis in die Rinde sich fortsetzend, die Markstrahlen. Dieselben bilden auf dem Querschnitte, der Hirnseite des Holzes, grobe oder feine schwachglänzende Linien; nach den Radien des Stammes gespaltenes Holz zeigt dagegen die Markstrahlen auf ihrer platten Seite als mehr oder weniger breite Streifen, die sich vom Mittelpunkte zur Rinde ziehen und sich durch Glanz und Färbung von der umgebenden Holzmasse unterscheiden. Die Holzarbeiter nennen deshalb das den Markstrahlen nach gespaltene, durch seine Markstrahlen glänzende (spiegelnde) Holz Spiegelholz und die Markstrahlen selbst Spiegel, und die Fläche, in der sie verlaufen, Spiegelfläche (Fig. 288 a. S. 417). Die Markstrahlen sind bei einigen Holzarten bis zu 30 cm hoch, bei anderen

kaum sichtbar bis zu 2 mm hoch, bei einigen 1 mm breit, bei anderen nur 0,15 mm.

Das Holzgewebe, welches zwischen den Markstrahlen sich befindet, lagert sich in kreisförmigen Jahresringen um das Mark oder den Mittelpunkt des Stammes ab, indem auf die ältesten Schichten gegen außen die nächst

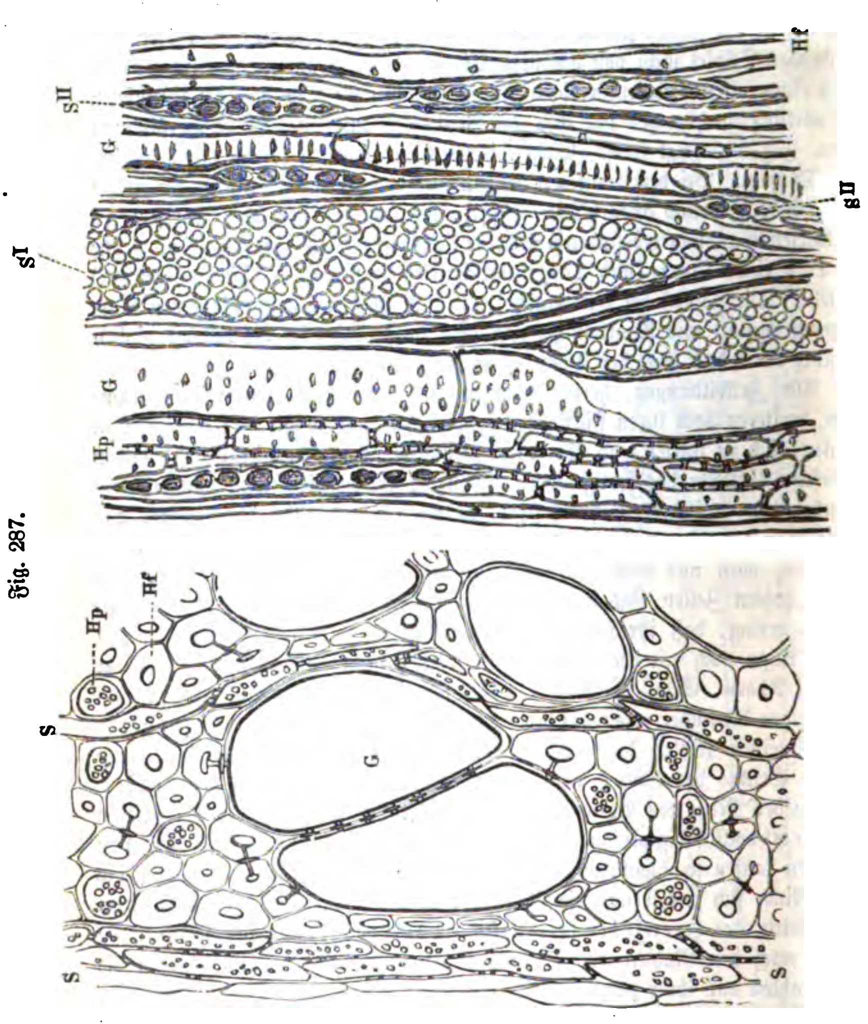


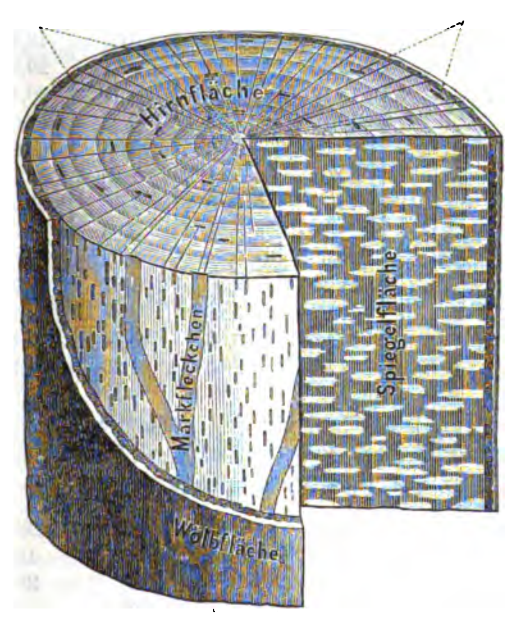
Fig. 287. Mikroskopische Schnitte durch das Holz der Rothbuche (Fagus silvatica). Querschnitt A 200fache Vergr., Tangentialschnitt B 100fache Vergr.; G netzförmige Holzgefäße; S Markstrahlen und zwar S^I breitere, S^{II} schmälere; Hp Holzparenchym; Hf stark verdickte Holzzellen. (Nach Dippel.)

jüngeren folgen und so fort bis zur Rinde, unter welcher die jüngsten Holzgewebe liegen und sich hier in der sog. Cambiumschicht (Bast) stets von neuem bilden, so daß die Zunahme jedes Baumstammes zwischen der Rinde und dem jüngsten Holze stattfindet. Es legen sich somit alle Jahre um den Stamm neue Schichten an, und werden so viele concentrische Ringe erzeugt als

der Baum Jahre zählt; da aber auch ein allmähliches Wachsen des Baumstammes in die Höhe stattfindet, so bildet jeder Holzring einen gestreckten Kegel, welcher von denen der folgenden Jahre vollkommen überdeckt und eingeschlossen wird. Bei einigen Holzarten finden sich charakteristisch längliche Markflecken, die ihre platten Seiten stets dem Kerne oder der Rinde zukehren und lediglich Markwiederholungen sind.

Die Rinde um einen Baumstamm bildet sich durch starke Verdunstung der Oberhaut (Epidermis), die vielen Zellsaft zur beschleunigten Ablagerung bringt und nach und nach die sog. echte Cuticula bildet, die durch ihre in-

Fig. 288.



Querschnitt durch einen Baumstamm mit seiner Spiegelfläche, seinen Markstrahlen und Markflecken. (Nach Nördlinger.)

crustirenden Substanzen und ihre wachsende Dicke mehr oder weniger undurchdringlich für Flüssigkeiten wird.

Der wichtigste Bestandtheil des Holzes ist der Zellstoff oder die Cellulose, $C_6H_{10}O_5$, in welchen die incrustirenden Stoffe (Lignin, Holzgummi u. s. w.) eingelagert sind.

Nach F. Schulze[1]) wird bei der Behandlung des Holzes mit Natronlauge ein Theil der Cellulose gelöst, nach H. Tauß[2]) schon beim Erhitzen mit Wasser. G. Lange[3]) erhitzt die Holzprobe mit Kalilauge; er fand an reiner Cellulose in Eichenholz 56 Proc., Buchenholz 53 Proc., Tannenholz 50 und

[1]) Liebig's Ann. 146, 130. — [2]) Fischer's Jahresber. 1889, 1. — [3]) Zeitschr. physiol. Chem. 14, 283; Fischer's Jahresb. 1890, 1.

Torf 44 Proc. H. Müller[1]) kocht die Holzprobe mit Wasser, behandelt mit Alkohol und Benzol, um Fett, Wachs, Harz u. dergl. zu lösen, extrahirt dann mit Ammoniak Farbstoff und pectoseartige Stoffe und behandelt mit Brom, um die Cellulose rein zu gewinnen. Er fand so:

Holzarten	Wasser	Wasser-extract	Harz	Cellulose	Incrust. Stoffe
Birken	12,48	2,65	1,14	55,52	28,21
Buchen	12,57	2,41	0,41	45,47	39,14
Buchsbaum	12,90	2,63	0,63	48,14	35,70
Ebenholz	9,40	9,99	2,54	29,99	48,08
Eichen	13,12	12,20	0,91	39,47	34,30
Erlen	10,70	2,48	0,87	54,62	31,33
Guajak	10,88	6,06	15,63	32,22	35,21
Kastanien	12,03	5,41	1,10	52,64	28,82
Kiefern	12,87	4,05	1,63	53,27	28,18
Linden	10,10	3,56	3,93	53,09	29,32
Mahagoni	12,39	9,91	1,02	49,07	27,61
Pappel (Schwarz-)	12,10	2,88	1,37	62,77	20,88
Tannen	13,87	1,26	0,97	56,99	26,91
Teak	11,05	3,93	3,74	43,12	38,16
Weiden	11,66	2,65	1,23	55,72	28,74

Th. Thomsen[2]) bezeichnet den in verdünnter Natronlauge löslichen Bestandtheil der incrustirenden Stoffe des Holzes mit Holzgummi, dessen Formel $C_6H_{10}O_5$; 100 Thle. Holz enthielten an Holzgummi:

	Peripherie	Mitte
Birke, alt	13,9	19,7
Birke, jung	24,9	26,4
Buche, alt	8,2	15,9
Buche, jung	11,9	11,3
Buche, jung	13,8	15,9
Eiche	(14,4)	10,7
Esche	9,7	10,7
Kirschbaum	19,3	15,4
Ulme	8,9	12,0

Nach F. Koch[3]) findet sich Holzgummi nur im Holze der Laubbäume, nicht in dem der Nadelhölzer. Dagegen fand A. Wieler[4]) für Pinus silvestris:

---

[1]) Hofmann, Wiener Ausstellungsbericht S. 27. — [2]) Journ. prakt. Chem. 19, 146. — [3]) Fischer's Jahresb. 1887, 1. — [4]) Ebend. 1886, 1056.

Bestandtheile	Kernholz Proc.	Splintholz Proc.	Rinde Proc.
Durch Wasser extrahirt	6,99	3,31	42,43
" Alkohol	4,41	2,87	3,69
Metarabinsäure	0,75	1,20	2,18
Sonstige in 0,1 proc. NaOH löslich .	2,56	2,38	1,84
Durch 1 proc. NaOH löslich	2,57	4,66	4,32
Holzgummi	10,99	16,07	6,35
Sonstige durch 10 proc. NaOH löslich.	—	—	4,72
Durch Chlorwasser löslich	55,51	58,21	26,24
Cellulose aus dem Lignin-Rückstand ber.	22,77	23,85	7,35
Asche	0,78	0,37	0,77
Summe	107,33	112,82	99,89
Directe Cellulosebestimmungen . . .	37,63	42,72	20,07
	39,11	38,98	22,01
	28,01	37,5	17,43

Die genaue Rindenanalyse ergab folgende Bestandtheile:

Davon ausziehbar durch — Proc.
- Petroläther 4,59
- Aether 2,79
- Wasser 42,43

Davon wurden bestimmt als
- Gerbsäure . . . . 2,94 Proc.
- Andere durch Bleiacetat fällbare Stoffe . . . 1,88 "
- Traubenzucker . . . . 2,96 "
- Saccharosen . . . . 6,49 "
- Gummi . . . . 2,17 "
- Metarabinsäure 2,18
- Sonstige durch 0,1 proc. NaOH ausziehbare Stoffe (vielleicht Eiweiß) 1,84
- Stärke 6,25
- Durch 1 proc. NaOH lösliche Stoffe 4,32
- Holzgummi 6,35
- Pararabin 1,67
- Calciumoxalat 2,09
- Eiweißkörper . . . . ?
- Durch Chlorwasser löslich (Lignin) 22,48
- Cellulose aus dem Lignin-Rückstand ber. 7,35
- Asche 0,77

105,11

Harzgehalt befördert die Brennbarkeit des Holzes; Hampel[1]) fand durch Behandeln mit 90 proc. Alkohol:

[1]) Mittheilungen d. technol. Gewerbemuseums 1882, 87.

	Proc.
Taxus baccata *L.*	7,514
Abies excelsa *D. C.*	2,734
Larix europaea *D. C.*	1,807
Pinus silvestris *L.*	1,744
Acer Pseudoplatanus *L.*	1,69
Fraxinus excelsior *L.*	1,47
Fagus silvatica *L.*	1,44
Betula alba *L.*	1,167

Wesentlich ist der Wassergehalt des Holzes, welcher nach Jahreszeit und Holzart ungemein verschieden ist und den Brennwerth des Holzes entsprechend herabdrückt (vergl. S. 425). Im Frühjahr ist der Wassergehalt allgemein höher als im Herbst und Winter, in den Aesten höher als im Stamm. Schubler und Hartig fanden folgenden Wassergehalt für frisches Holz:

	Schubler und Hartig Proc.	Hartig Proc.	Verschiedene Beobachter Proc.
Hainbuche oder Weißbuche (Carpinus betulus)	18,6	37	22 bis 41
Weide (Salix caprea)	26,0	42	30 „ 49
Ahorn (Acer Pseudoplatanus)	27,0	34	30 „ 36
Esche (Fraxinus excelsior)	28,7	27	14 „ 34
Birke (Betula alba)	30,8	47	24 „ 53
Eiche (Quercus pedunculata)	35,4	35	22 „ 39
Roßkastanie (Aesculus Hippocastanum)	38,2	48	37 „ 52
Buche (Fagus silvatica)	39,0	39	20 „ 43
Kiefer (Pinus silvestris)	39,7	61	15 „ 64
Erle (Alnus glutinosa)	41,6	50	33 „ 58
Ulme (Ulmus campestris)	44,5	34	22 „ 44
Fichte (Abies excelsa)	45,2	56	11 „ 57
Linde (Tilia europaea)	47,1	52	36 „ 57
Lärche (Larix europaea)	48,6	50	17 „ 60
Schwarzpappel (Populus nigra)	51,8	52	43 „ 61

Die zweite Spalte enthält die Durchschnittswerthe der Hartig'schen Bestimmungen für die einzelnen Monate, wobei aber die Hölzer nur bis gut lufttrocken gebracht waren, so daß diese Werthe thatsächlich noch 10 bis 12 Proc. zu niedrig sind; die dritte Spalte desgleichen Grenzwerth anderer Beobachter[1]).

Die Untersuchungen der Forstakademie zu Eberswalde[2]) mit dem Holz der Fichte (und zwar dem Stammtheil 1,4 bis 4 m über dem Boden) ergaben, daß zwar der Splint wasserreicher ist als der Kern, daß aber das Verhältniß zwischen dem Wassergehalte in beiden Theilen außerordentlich schwankt und einigermaßen constante Zahlen nur in der Summe des Wassergehaltes vom ganzen Stammtheil (also vom Kern und Splint) erhalten wird. Der Wasser-

[1]) Vergl. Nördlinger, Die technischen Eigenschaften des Holzes, S. 65. — [2]) Fischer's Jahresber. 1883, 1200.

gehalt des Holzes, welcher bis zum Eintritt der Lufttrockenheit abgegeben wird, schwankt von 36 bis 44 Proc. des Gewichts bei der Fällung. Eine gesetzmäßige Folge ist nicht vorhanden, vielmehr die Reihenfolge der Monate folgende: Mai (Minimum), Juli, December, Juni, Februar, März, August, October, September, November, Januar, April (Maximum). Der Wassergehalt des lufttrockenen Holzes ist geringen Schwankungen unterworfen und geht nur von 10 Proc. auf 12 Proc. Die Monate folgen dabei in dieser Weise: October, (Minimum), Juli, August, September, Mai, März, Juni, November, Januar, April, Februar, December (Maximum), lassen also nur undeutlich die Sommermonate an den Anfang, die Wintermonate an den Schluß der Reihe treten. Die chemische Untersuchung ergab, daß auf Grund der chemischen Zusammensetzung ein wahrscheinliches Resultat über die etwaige größere oder geringere Dauer der in den einzelnen Monaten gefällten Hölzer zunächst noch nicht gezogen werden konnte. Kern und Splint zeigten überall wesentliche Unterschiede und ließen die geringere Dauerhaftigkeit des letzteren erklärlich finden. Die ausgeführten Festigkeitsversuche mit zehn Jahre lang im Freien und unter Dach aufbewahrten Holzproben ließen einen bestimmten Einfluß der Fällzeit nicht erkennen.

Versuche über die Wasseraufnahme von trockenem Holz wurden von Weißbach[1]), Maumené[2]) u. A. ausgeführt. F. Schödler[3]) fand, daß 1 qdc Hirnfläche Tannenholz in fünf Tagen 73 bis 129 g Wasser aufnahm, von der Sehnenfläche aus nur 11 g. Maumené fand, daß 100 Thle. trockenes Holz 9,37 bis 174,86 Thle. Wasser auffaugen können, während das im gewöhnlichen Holze enthaltene Wasser von 4,61 bis 13,56 schwankte.

Beim Trocknen zieht sich das Holz zusammen, es schwindet. Nach Nördlinger beträgt die Größe des Schwindens beim Trocknen: I. nach der Richtung der Fasern, II. nach der Richtung des Stammhalbmessers, III. nach der Richtung senkrecht auf die Ebene der Spiegel in Procenten bei:

	I.	II.	III.		I.	II.	III.
Weißbuchen . .	0,21	6,82	8,00	Eschen	0,26	5,35	6,90
Rothbuchen . .	0,20	5,25	7,03	Espen	0,0	3,97	3,33
Feldahorn . .	0,0	2,03	2,97	Sahlweiden .	0,0	2,07	1,90
Ulmen	0,05	3,85	4,10	Linden	0,10	5,73	7,17
Ahorn	0,11	2,06	4,13	Föhren	0,0	2,49	2,87
Birken	0,50	3,05	3,19	Fichten	0,0	2,08	2,62
Eichen	0,0	2,65	4,10	Erlen	0,30	3,16	4,15

J. A. Frey[4]) verwandte mittelstarke, 75- bis 100jährige Stämme, welche anfangs Januar 1877 gefällt wurden. Der Wald war an einem Nordwestabhange, bei 750 bis 800 m über dem Meere gelegen. Etwa 60 cm über dem Stocke wurden Stücke von passender Länge abgesägt und hierauf sofort von jeder Holzart acht vollkommen genau gearbeitete Cubikdecimeter-Würfel hergestellt. Diese wurden gewogen, aus den acht Wägungen wurde das mittlere Gewicht von 1 cbdc und hieraus das specif. Grüngewicht für jede Holzart

[1]) Polyt. Journ. 99, 315. — [2]) Compt. rend. 87, 943. — [3]) Gewerbeblatt für Hessen 1879, 817. — [4]) Mitth. technol. Gewerbemus. 1883, 108.

Holzart	Grün	Sommertrocken	Abgetrocknet	Ausgetrocknet		Dürr		Verkohlt	
	Specif. Gew.	Specif. Gew.	Absolutes Gew. g	Specif. Gew.	Gew.-Verlust Proc.	Specif. Gew.	Gew.-Verlust Proc.	Specif. Gew.	Gew.-Verlust Proc.
Eiche	1,0745	0,9852	858	0,804	29,1	0,766	33,2	0,387	76,7
Esche	0,8785	0,8304	769	0,771	19,6	0,746	29,1	0,371	77,9
Buche . . .	1,0288	0,8160	756	0,747	33,5	0,700	41,7	0,319	82,3
Kiefer . . .	0,8734	0,7828	672	0,678	27,6	0,662	37,7	0,351	80,1
Ulme	0,9166	0,7502	626	0,635	35,5	0,595	42,6	0,284	81,9
Eibe	0,9030	0,7106	686	0,696	24,6	0,642	35,3	0,262	76,2
Ahorn . . .	0,9210	0,7044	674	0,637	33,1	0,604	40,3	0,247	81,4
Aspe	0,8809	0,6398	481	0,515	46,1	0,463	54	0,179	86,3
Lärche . . .	0,7633	0,6112	573	0,607	27,3	0,560	34,3	0,238	77,1
Weißtanne .	0,8041	0,5878	544	0,529	37,3	0,510	43,8	0,214	81
Linde . . .	0,7690	0,5810	483	0,505	41,6	0,484	47,7	0,240	84,1
Fichte . . .	0,5266	0,4931	465	0,487	13,1	0,457	23,1	0,193	73,3

Holzart	Procent. Schwindung								
	Ausgetrocknet			Dürr			Verkohlt		
	Achsial	Radial	Gesammt	Achsial	Radial	Gesammt	Achsial	Radial	Gesammt
Eiche	0,0	3,1	6,1	0,2	6,8	13,3	6	17	35,2
Esche	0,0	4,3	8,4	0,0	8,6	16,5	7	25	47,7
Buche . . .	0,0	4,3	8,4	0,0	7,5	14,4	6,5	22	43,1
Kiefer . . .	0,0	3,4	6,7	0,2	6,9	13,5	9	26,5	50,8
Ulme	0,3	3,4	7,0	0,1	5,9	11,5	9	20	41,4
Eibe	0,0	1,1	2,1	0,5	4,3	8,9	10,5	8	19,6
Ahorn . . .	0,0	1,7	3,4	0,0	4,5	8,9	8,5	13	30,7
Aspe	0,4	3,8	7,8	0,3	6,1	12,1	7	15	32,8
Lärche . . .	0,2	3,4	6,9	0,4	5,2	10,5	8,5	10,5	26,7
Weißtanne .	0,0	2,3	4,6	0,4	5,7	11,4	10	11	28,7
Linde . . .	0,0	5,7	11,1	0,1	8,8	16,9	8	25,5	48,9
Fichte . . .	0,0	3,1	6,1	0,3	5,7	11,3	9	10,5	27,1

berechnet. Von diesen acht Würfeln wurden vier zur Verkohlung bestimmt, welche zugleich auch zur Erhebung der Gewichtsveränderung durch „Abtrocknen" dienten, und je zwei zum „Austrocknen" und „Ausdörren", wobei die Wahl so getroffen wurde, daß das mittlere Gewicht in jeder Gruppe möglichst genau dem allgemeinen Mittelgewichte der Holzart entsprach. Zur Feststellung des Gewichtes des Holzes im „sommertrockenen" Zustande wurden aus den halb-entrindeten, an luftigen Orten nach Wagnerart liegen gebliebenen Resten an-

fangs August noch je zwei Würfel verfertigt. Es erschien die Erhebung des Gewichtes in diesem Zustande deshalb wichtig, weil für mannigfache technische Verwendungen dieser Zustand die Regel ist. Die Abtrocknung wurde erzielt, indem man die zur Verkohlung bestimmten Würfel ohne jede weitere Vorkehrung bis Mitte Juni auf dem Estrichboden liegen ließ. Die Schwindung in diesem Grade der Trockenheit war noch unmeßbar und konnte daher kein specifisches Gewicht, sondern nur das absolute Gewicht erhoben werden. Der Zustand „ausgetrocknet“ wurde dadurch erreicht, daß man die betreffenden Würfel in einem Zimmer luftig aufschichtete. Der Raum wurde bis Ende April meist geheizt und anfangs August dürfte der Zustand des Holzes ziemlich dem entsprochen haben, welchen man in der Regel als eine Folge des „jahrelangen Liegens unter Dach“ bezeichnet. Zur Herstellung des Zustandes „dürr“ wurden zuerst Versuche vorgenommen, das Holz chemisch trocken herzustellen. Da dies mißlang, so brachte man die Würfel anfangs Mai in den Darrraum einer Parquettenfabrik. Die Resultate dieser durch zwei Monate fortgesetzten Darrung bei allmählich steigender Temperatur, welche in den letzten 41 Tagen bis 100° betrug, wurden an Ort und Stelle durch Messungen und Wägungen festgestellt. Zur Verkohlung bediente man sich der Apparate einer Pulverfabrik. Die Würfel wurden in eingemauerten Retorten mittels überhitzter Luft vollständig verkohlt und nach vollendetem Verkohlungs- und Abkühlungsprocesse an Ort und Stelle gemessen und gewogen.

Der Aschengehalt des Kernholzes ist nach H. Zimmermann[1]) erheblich größer als der des Splints; letzterer betrug 0,28 bis 1 Proc., während Kernholz bis 8,8 Proc. Asche enthielt. Nach Moser enthalten 100 Thle. trockenes Holz:

	Asche	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia
Roßkastanie	2,8	—	0,59	0,02	0,04	0,55	—	1,43	0,15
Buche	0,5	0,01	0,03	0,03	—	0,09	0,02	0,31	0,06
Eiche	0,5	0,01	0,03	0,01	—	0,05	0,02	0,37	0,02
Lärche	0,27	0,01	0,01	0,01	—	0,04	0,02	0,07	0,07
Kiefer	0,26	0,01	0,02	0,04	—	0,03	0,01	0,13	0,02
Birke	0,26	—	0,02	0,01	—	0,03	0,02	0,15	0,02
Tanne	0,24	0,01	0,01	0,02	—	0,04	0,02	0,12	0,01
Fichte	0,21	0,01	0,01	0,01	—	0,01	0,06	0,10	0,01

Patera[2]), Akermann und Särnström[3]) machen auf den Phosphorsäuregehalt der Holzasche aufmerksam in Rücksicht auf hüttenmännische Zwecke.

---

[1]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1893, 426; Moser, Chem. f. Land- und Forstwirthe (Wien 1870). — [2]) Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877, 158. — [3]) Jernkont. Ann. 1888, 303; Fischer's Jahresb. 1889, 2.

Chevandier[1]) fand bei 524 Aschenanalysen den mittleren Aschengehalt des Buchenholzes zu 1,06 Proc., des Kiefernholzes zu 1,04 Proc., des Fichtenholzes zu 1,02 Proc. Patera nimmt den Aschengehalt des Holzes zu 1 Proc., das Ausbringen der Kohle aus den verschiedenen Hölzern zu 20 Proc. an. Der Phosphorgehalt der Buchenholzasche ist im Mittel 2,97 Proc., der Tannen- und Fichtenholzasche 2,15 Proc., der Föhrenasche 3,21 Proc. und der Kiefernholzasche 1,99 Proc. Der Phosphorgehalt beträgt demnach in 100 Thln. Kohle:

Buchenholzkohle	0,1485 Proc.
Tannen- und Fichtenholzkohle	0,1078 „
Föhrenkohle	0,1605 „
Kiefernkohle	0,0995 „
Ostrauer Koks	0,024 bis 0,052.

Akermann fand nun, daß Laubhölzer vier bis fünf Mal so viel Phosphor enthalten als Nadelhölzer, unter welchen letzteren wieder Tanne mehr Asche, aber kaum so viel Phosphor wie Fichte enthält. Außerdem scheint aber noch festzustehen, daß die gleiche Holzart aus einer Gegend wenigstens doppelt so viel Phosphor enthalten kann, als dieselbe aus einer anderen Gegend; daß das Tannenholz der Winterfällung mehr Phosphor enthält als dasjenige der Frühjahrs- oder Sommerfällung; daß die Borke von Fichte und Tanne 12 bis 15 mal so viel Phosphor enthält, als das Stammholz; daß die Zweige der Nadel- und Laubhölzer bedeutend mehr Phosphor enthalten als die Stämme, und daß das Außenholz von Tanne und Fichte mehrere Male mehr Phosphor enthält als das Kernholz, während die Aschengehalte gleich sind.

Dem Eisen kann demnach unter Umständen durch Holzkohle mehr Phosphor zugeführt werden als durch Koks.

Auf die älteren Elementaranalysen verschiedener Hölzer von Schödler und Petersen, Gay-Lussac und Payer sei verwiesen, da sie nach Mayer[2]) nicht zuverlässig sind. Chevandier erhielt im Durchschnitt für Stammholz mit Rinde und Aesten (aschenfrei) bei:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff
Kiefer	51,76	6,12	41,36	0,76
Tanne	51,63	6,11	41,20	1,06
Weide	51,12	6,02	42,00	0,86
Birke	51,05	6,27	41,84	0,84
Eiche	50,42	5,99	42,69	0,90
Erle	50,38	6,26	42,54	0,82
Buche	49,76	6,05	43,31	0,87
Hainbuche	49,46	6,08	43,68	0,78

Gottlieb (vergl. S. 397) und Heintz[3]) fanden für bei 115° getrocknetes Holz:

---

[1]) Compt. rend. 24, 269. — [2]) A. Mayer, Technologie des Holzes, S. 41. — [3]) Brix, Heizkraft der Brennstoffe in Preußen (Berlin 1853), S. 378.

	Holzart	Kohlenstoff Proc.	Wasserstoff Proc.	Stickstoff Proc.	Sauerstoff Proc.	Asche Proc.
nach Gottlieb	Eiche	50,22	5,99	0,09	43,42	0,28
	Esche	49,77	6,26	0,07	43,37	0,53
	Hagebuche	49,48	6,17	0,06	43,77	0,52
	Buche, 130jährig	49,03	6,06	0,11	44,36	0,44
	„ 60 „	49,14	6,16	0,09	44,07	0,54
	Birke	48,88	6,06	0,10	44,67	0,29
	Tanne	50,36	5,92	0,05	43,39	0,28
	Fichte	50,31	6,20	0,04	43,08	0,37
nach Heintz	Eiche	48,94	5,94	—	43,09	2,03
	Buche	46,02	5,86	—	46,94	1,18
	Birke	48,89	6,19	—	44,93	0,99
	Kiefer, alter Stamm	49,87	6,09	—	43,41	0,63
	„ junger „	50,62	6,27	—	42,58	0,53
	Weißbuche	48,08	6,12	—	44,93	0,87

Eine Brennwerthbestimmung des Verf.[1]) von bei 110 bis 115° getrocknetem Eichenholz ergab:

	I.	II.	III.	Mittel
Brennwerth (bezogen auf Wasser)	4740	4729	4751	4740
Brennwerth (bezogen auf Dampf von 20°)	4421	4410	4432	4421

Die Dulong'sche Formel (S. 259) würde nur 4146 *w* und (bezogen auf Wasserdampf von 20° als Verbrennung) = 3827 *w* ergeben, entsprechend der Elementaranalyse:

Kohlenstoff	49,84	Proc.
Wasserstoff	5,83	„
Stickstoff	0,10	„
Sauerstoff	43,84	„
Asche	0,39	„

Würde dieses Holz mit 30 Proc. Wasser verbrannt, so wäre der Brennwerth, bezogen auf Wasserdampf von 20°, nur 2914 *w*; lufttrockenes Holz gibt etwa 3600 *w*.

Das specifische Gewicht der Hölzer im grünen und lufttrockenen Zustande ist nach Karmarsch[2]) und nach Winkler für in geheizten Räumen getrocknetes Holz:

---

[1]) Fischer's Jahresb. 1893, 5. — [2]) K. Karmarsch, Handbuch der mechanischen Technologie (Hannover 1866), S. 630.

Name der Holzarten	Specif. Gewicht nach Karmarsch						Specif. Gewicht v. getr. Holzwürfeln nach Winkler
	In frischem (grünem) Zustande			In lufttrockenem Zustande			
	Geringstes	Höchstes	Mittleres	Geringstes	Höchstes	Mittleres	
Ahorn	0,843	0,989	0,916	0,612	0,750	0,681	0,618
Apfelbaum	0,960	1,137	1,048	0,674	0,793	0,733	—
Birke	0,851	0,991	0,921	0,591	0,738	0,664	0,598
Birnbaum	—	—	—	0,646	0,732	0,689	—
Buche	0,852	1,109	0,980	0,590	0,852	0,721	0,560
Buchsbaum	—	—	—	0,912	1,031	0,971	—
Ceder	—	—	—	0,561	0,575	0,568	—
Ebenholz	—	—	—	1,187	1,331	1,259	—
Eibenholz	—	—	—	0,744	0,807	0,775	—
Eiche	0,885	1,128	1,006	0,650	0,920	0,785	0,663
Erle	0,809	1,011	0,910	0,423	0,680	0,551	0,443
Esche	0,778	0,927	0,852	0,540	0,845	0,692	0,619
Fichte (Rothtanne)	0,590	0,993	0,791	0,360	0,492	0,426	0,434
Föhre (Kiefer)	0,811	1,078	0,944	0,403	0,763	0,583	0,485
Kirschbaum	0,827	0,928	0,877	0,577	0,717	0,647	—
Lärche	0,671	0,924	0,797	0,473	0,565	0,519	0,441
Linde	0,678	0,878	0,778	0,375	0,604	0,489	0,431
Mahagoni	—	—	—	0,563	1,063	0,813	—
Nußbaum	—	—	—	0,660	0,811	0,735	—
Pappel	0,751	0,956	0,853	0,353	0,591	0,472	0,346
Pflaumenbaum	—	—	—	0,754	0,872	0,813	—
Pockholz	—	—	—	1,263	1,342	1,302	—
Roßkastanie	0,908	0,908	0,908	0,551	0,610	0,580	—
Tanne (Weiß-)	0,841	1,004	0,922	0,452	0,746	0,599	0,493
Ulme	0,878	0,958	0,918	0,568	0,684	0,626	0,518
Weide	0,715	0,906	0,810	0,392	0,580	0,486	0,501
Weißbuche	0,939	1,137	1,038	0,728	0,824	0,776	0,691
Weißdorn	—	—	—	0,871	0,871	0,871	—

Specif. Gewicht der Hölzer nach Hartig[1]), grün und bei 60° getrocknet:

	Grün	Trocken	
		Grenzen	Durchschnitt
Eiche (Q. pedunc.)	0,93 bis 1,28	0,69 bis 1,03	0,89 bis 0,80 schwer
Eibe (Taxus. bacc.)	0,97 „ 1,10	0,74 „ 0,94	
Esche (Frax. exc.)	0,70 „ 1,14	0,57 „ 0,94	0,79 bis 0,70 mittelschwer
Buche (Fag. silv.)	0,90 „ 1,12	0,66 „ 0,83	
Hainbuche (Carp. bet.)	0,92 „ 1,25	0,62 „ 0,82	
Akazie (Rob. pseud.)	0,75 „ 1,00	0,58 „ 0,85	

[1]) Nördlinger, Techn. Eigenschaften der Hölzer, S. 507.

	Grün	Trocken	
		Grenzen	Durchschnitt
Ulme (Ulm. camp.)	0,73 bis 1,18	0,56 bis 0,82	0,69 bis 0,60 ziemlich leicht
Ahorn (A. camp.)	0,87 „ 1,05	0,61 „ 0,74	
„ (A. pseudopl.) . . .	0,83 „ 1,04	0,53 „ 0,79	
Birke (Bet. alba)	0,80 „ 1,09	0,51 „ 0,77	
Lärche (Larix eur.)	0,52 „ 1,00	0,44 „ 0,80	
Roßkastanie (Aesc. Hipp.) .	0,76 „ 1,04	0,52 „ 0,63	0,59 bis 0,50 leicht
Erle (Alnus gl.)	0,63 „ 1,01	0,42 „ 0,64	
Weide (Salix capr.)	0,73 „ 0,97	0,43 „ 0,63	
Kiefer (Pinus silv.)	0,38 „ 1,03	0,31 „ 0,74	
Tanne (Ab. exc.)	0,40 „ 1,07	0,35 „ 0,60	0,49 bis 0,40 sehr leicht
Linde (Tilia parvifol.) . .	0,61 „ 0,87	0,32 „ 0,59	
Pappel (Pop. nigra) . . .	0,73 „ 1,07	0,39 „ 0,52	

Die von Maumené (vergl. S. 421) gefundenen specifischen Gewichte ergaben fast dieselben Werthe, als sie das Jahrbuch des Pariser Längenbureaus enthält:

	Längenbureau	Maumené
Akazie	0,72 bis 0,82	0,7897
Mahagoni	0,56 „ 0,85	0,8343
Erle	0,55 „ 0,60	0,5698
Birke	0,73 „ 0,81	0,6562
Buchsbaum . . .	0,91 „ 1,32	1,0550
Ceder	0,49	0,5087
Weißbuche	0,76	0,7763
Eiche	0,61 bis 1,17	0,8245
Ahorn	0,64	0,6817
Esche	0,70 bis 0,84	0,7751 bis 0,8423
Pappel	0,39 „ 0,51	0,4709
Buche	0,66 „ 0,82	0,7559
Nußbaum	0,68 „ 0,92	0,6060
Ulme	0,55 „ 0,76	0,6610
Platane	0,65	0,6640
Tanne	0,53 bis 0,54	0,5324

Nach Th. Hoh[1]) ist das specifische Gewicht für

Erlenholz	0,553	Weißbuche	0,739
Eichenholz	0,660	Birke	0,753
Ahornholz	0,674	Rothbuche	0,770
Fichtenholz	0,704	Zwetschenbaum	0,829
Kirschbaum	0,709	Ebenholz	1,115.

Das Gewicht von 1 cbm (Festmeter) Holz ist natürlich gleich dem specifischen Gewichte in Tonnen oder 1000 kg; ein Festmeter Erlenholz wiegt somit nach Hoh 0,553 Tonnen oder 553 kg.

[1]) Ber. d. naturforsch. Ges. Bamberg 1877, 59.

Die Widerstände, welche sie trocken dem Zersägen entgegenstellen, wachsen nach Hoh in folgender Reihenfolge: Fichte, Erle, Kirsche, Birke, Eiche, Weißbuche, Rothbuche, Ahorn, Zwetsche, Ebenholz; feucht dagegen: Fichte, Eiche, Erle, Birke, Weißbuche, Kirsche, Rothbuche, Zwetsche, Ahorn, Ebenholz. Die Biegungselasticität giebt folgende aufsteigende Reihe: Ebenholz, Eiche, Ahorn, Zwetsche, Kirsche, Weißbuche, Birke, Fichte, Erle, Rothbuche; die Wasseraufnahmefähigkeit: Ebenholz, Weißbuche, Zwetsche, Ahorn, Fichte, Eiche, Rothbuche, Kirsche, Birke, Erle.

Brennholz wird nach sog. Raummetern (Stère) verkauft, d. h. nach Cubikmeter Raum, welcher mit Holzscheiten ausgesetzt ist, also einschließlich der Hohlräume; bei Stammholz rechnet man etwa $^3/_4$ Derbgehalt. Chevandier fand in den Vogesen als Durchschnittsgewicht von einer Stère:

	Stammholz	Knüppel von jungen Stämmen	Knüppel von Aesten
	kg	kg	kg
Eiche	371	317	277
Rothbuche	380	314	304
Weißbuche	370	313	298
Birke	338	318	269
Tanne	277	312	287
Fichte	256	283	281

Der Derbgehalt des Holzes, d. h. die Holzmenge, welche ein Raummeter Holz enthält, ist nach den Untersuchungen deutscher forstlicher Versuchsanstalten, bearbeitet von Bauer:

Festgehalt eines Raummeters in Procenten	Minimum	Maximum
Nutzscheite[1]), starke, Laub- und Nadelholz	78	82
„ schwache, Nadelholz	73	77
Nutzknüppel, starke, Nadelholz		
Brennscheite, starke, glatt, gerade, Laub- und Nadelholz		
Brennknüppel, starke, glatt, gerade, Nadelholz		
Nutzknüppel, starke, Laubholz	68	72
„ schwache, Nadelholz		
Brennscheite, schwache, glatt, gerade, Laub- und Nadelholz		
„ starke, knorrig, krumm, Nadelholz		
„ schwache, knorrig, krumm, Nadelholz		
Brennknüppel, starke, glatt, gerade, Laubholz		

[1]) Scheite sind Spaltstücke aus Stammabschnitten von mehr als 14 cm Dicke am schwächeren Ende, Knüppel sind ungespaltene Stammabschnitte von 7 bis 14 cm Dicke am schwächeren Ende, Reisig (Reisknüppel, Langreisig, Abfallreisig) ist Holz von weniger als 7 cm Stärke.

Festgehalt eines Raummeters in Procenten	Minimum	Maximum
Nutzknüppel, schwache, Laubholz	63	67
Brennscheite, starke, knorrig, krumm, Laubholz		
„ schwache, knorrig, krumm, Laubholz		
Brennknüppel, schwache, glatt, gerade, Laub- und Nadelholz		
„ schwache, krumm, knorrig, Nadelholz		
„ starke, krumm, knorrig, Laub- und Nadelholz		
Reisknüppel vom Stamme, Nadelholz	58	62
„ vom Stamme, Laubholz	53	57
Brennknüppel, schwache, krumm, knorrig, Laubholz		
Reisknüppel von Aesten, Nadelholz	48	52
Langreisig vom Stamme, Nadelholz		
Reisknüppel von Aesten, Laubholz	43	47
Abfallreisig vom Stamme, Nadelholz		
Stockholz	42	48
Langreisig vom Stamme, Laubholz	33	37
Abfallreisig vom Stamme, Laubholz	23	27
Langreisig von Aesten in Raummetern, Laub- und Nadelholz	13	17
Abfallreisig von Aesten in Raummetern, Laub- und Nadelholz		
Rinde, alte, von Eichen, geputzt und ungeputzt	38	42
„ alte, von Fichten und Tannen, ungeputzt	15	51

Torf[1].

Die Verwendung des Torfes zur Bereitung von Speisen und zum Erwärmen des Körpers war in Nordwestdeutschland schon zur Zeit des Plinius (Hist. natur., 16. Buch, 1) bekannt.

[1]) Literatur: Dau, Handbuch über den Torf (Leipzig 1823). Wiegmann, Entstehung, Bildung und Wesen des Torfes (Braunschweig 1837 und 1842). Wieck, Torfbüchlein (Chemnitz 1839). A. Griesebach, Bildung des Torfes in den Emsmooren (Göttingen 1846). A. Bode, Anleitung zum Torfbetriebe in Rußland (Mitau 1846). Lesquereux (deutsch von Lengerke), Untersuchung der Torfmoore (Berlin 1847). Sendtner, Vegetationsverhältnisse von Südbayern (München 1854). Türrschmidt, Torffabrikation (Berlin 1859). Bromeis, Aufbereitung und Dichtung des Torfes (Berlin 1859). Vogel, Der Torf (München 1859). W. Leo, Torfwesen (Quedlinburg 1860). A. Vogel, Praktische Anleitung zur Werthbestimmung von Torfgründen (München 1861). Dullo, Torfverwerthung (Berlin 1861). Senft, Humus-, Marsch- und Torfbildungen (Leipzig 1862). Schenk zu Schweinsberg, Rationelle Torfverwerthung (Braunschweig, Vieweg, 1862). F. Versmann, Herstellung von condensirtem Torf (Hannover 1862). W. Leo, Compression des Torfes (Prag 1864). Schlickeysen, Fabrikation von Preßtorf (Berlin 1864). R. Andrée, Viermoos-Torf (Leipzig 1865). Seydel, Der Torf (Berlin 1873). A. Hausding, Industrielle Torfgewinnung und Torfverwerthung (Berlin 1876); Derselbe, Torfwirthschaft Süddeutschlands (Berlin 1878). A. Jentzsch, Die Moore der Provinz Preußen (Königsberg 1878). J. Matern, Fabrikmäßige Torfgewinnung (Wien 1880). E. Birnbaum und H. Birnbaum, Torfindustrie und Moorcultur

Torf findet sich in bauwürdigen Mengen nur in der gemäßigten Zone. In Deutschland finden sich bauwürdige Torflager besonders in den Provinzen Hannover (die Emsmoore umfassen fast 3000 qkm)[1]), Schleswig-Holstein, Pommern, Brandenburg, Posen, Preußen, Westfalen, ferner in Oldenburg, Bayern, Württemberg, Baden. Die Vertheilung der Torfmoore ist sehr ungleich; in Ostpreußen z. B. enthält der Kreis Heydekrug 30,6 Proc. der gesammten Oberfläche an Torfmooren, andere Kreise dagegen nur 1 Proc. davon. Die Provinz Hannover hat 6600 bis 7150 qkm[1]) (120 bis 130 Quadratmeilen) Torf, das Bourtanger Moor im Emsgebiet ist 1400 qkm, das Arembergsche 1500 qkm groß; Hannover enthält demnach 1/6 seiner Gesammtoberfläche an Torf. Das Großherzogthum Oldenburg hat 1200 qkm Torf.

Im südlichen Bayern sind etwa 1100 qkm (nach Birnbaum, nach Hausding nur 600 bis 700) Torfmoore, davon kommen z. B. auf das Dachauer 210 qkm, das Erding-Freisinger 230 qkm, das Donaumoor bei Neuburg etwa 200 qkm, das Moor am Chiemsee 30 qkm. Die badischen und württembergischen Moore schätzt Hausding auf etwa 300 qkm, die österreichischen auf etwa 1400 qkm[2]).

Besonders reich an Torfmooren sind Irland, Schottland, Norwegen und Schweden, das westliche und östliche Rußland, Holland, das nordwestliche Frankreich und ein Theil der Schweiz. Portugal hat ein großes, 1 m mächtiges, Torflager am Sadoflusse, welches aber wenig ausgenutzt wird. In Italien und Spanien finden sich nur in ihren gebirgigen, nördlichen Theilen Moore, ebenso in Griechenland. Dagegen sind Nordamerika und Nordasien reich an Torfmooren.

Die Mächtigkeit der Torfmoore erreicht nicht selten 3 bis 6 m, das Moor von Allen in Irland sogar 12 m.

Ueber die Mengen des jährlich gewonnenen Torfes fehlt leider jede Angabe.

Torf bildet sich durch Zersetzung der verschiedensten Pflanzen in Gegenwart von Wasser bei mittlerer Temperatur. Einen aus Tangarten entstandenen sog. Meertorf, welchen Dau u. A. annehmen, gibt es nicht, wie besonders Früh (a. a. O.) zeigt; man kennt somit keine marine Torfbildung. Während noch Websky[3]) als eigentliche Torfpflanze, ohne welche kein Torfmoor gebildet werde, das Torfmoos annimmt, zeigen Sendtner (s. d.), Lorenz[4]), Senft (s. d.), Griesebach (s. d.), Früh (a. a. O.), daß an der Torfbildung, mit

---

(Braunschweig 1880). J. Früh, Torf und Dopplerit (Zürich 1883). H. Stiemer, Der Torf und dessen Massenproduction (Halle 1883). Lasard, Torf, seine Bildung und Eigenschaften (Weimar 1884). v. Giese, Gewinnung und Verarbeitung des Torfes in der Eifel (Aachen 1892). Eiselen, Handbuch des Torfwesens (Berlin 1802); Derselbe, Betrachtungen über Torf als Brennmaterial (Berlin 1816). J. Beckmann, Beytrag zur Geschichte der Erfindungen (Leipzig 1799), 4, S. 393. — [1]) Eine Quadratmeile zu 55 qkm. — [2]) Hausding, Torfwirthschaft Süddeutschlands, 1878. v. Dechen, Die nutzbaren Mineralien im Deutschen Reich (Berlin 1873). — [3]) Journal f. prakt. Chem. (1864), 92, 65. — [4]) Moore von Salzburg; Flora 1858.

Ausnahme von Pilzen, alle Pflanzenarten betheiligt sind. Die Torfmoose (Sphagnum, Hypnum) sind besonders wichtig, weil sie nach Grieſebach gesellig leben und in hervorragendem Grade die Fähigkeit haben, große Wassermengen aufzunehmen. Durch ihre Entwicklung ist somit ein weiterer Grund gegeben für dauernde Durchtränkung der Vegetation mit Wasser, ihre wasserhaltende Thätigkeit sorgt dafür, daß nicht allein die weitere Entwickelung der Pflanzendecke stets bei reichlichem Wasservorrath stattfindet, sondern daß auch die abgestorbenen Pflanzen unter Wasser, somit bei Luftabschluß, der Zersetzung anheimfallen. Diese Moosvegetation beginnt rings am Ufer des stagnirenden Wassers, sie dehnt sich aber bald über das ganze Wasser aus, namentlich wenn dasselbe so seicht ist, daß die Wurzeln der Moospflanzen den Grund erreichen können. Im Herbst stirbt die Vegetation ab, sie sinkt im Wasser unter und verfällt hier den Zersetzungsprocessen, durch die der Torf gebildet wird. Im Frühjahr bildet sich eine neue Moosdecke, die im Herbst wieder untersinkt. In dieser Weise wird allmählich das ganze stagnirende Wasser mit der entstehenden Torfschicht angefüllt.

Birnbaum (s. d.) führt als wichtig für die Torfbildung an: die gemeine und die Moorhaide (Calluna vulgaris und Erica tetralix), die Rasen- und Wollgräser (Eriophorum, namentlich vaginatum), die Riedgräser (Carex limosa, teretiuscula, ampullacea, vesicaria, pulicaris, paradoxa u. a.), Binsen Scirpus silvaticus, setaceus, caespitosus), Simsen (Juncus conglomeratus, silvaticus, filiformis u. a.), das gemeine Borstengras (Nardus stricta), auf den Hochgebirgen auch die Zwergkiefer (Pinus pumilio und mughus), das Schilfrohr (Typha latifolia und angustifolia), Kalmus (Acorus calamus), die Wasserlilien (Iris pseudacorus), die Wassergräser (Poa aquatica und calamagrostis), den Froschlöffel (Alisma), den Igelkolben (Sparganium), das Pfeilkraut (Sagittaria), die Minze (Mentha aquatica), die Sumpfdistel (Carduus palustris und crispus), Schachtelhalm (Equisetum palustre), Weiderich (Epilobium palustre), die Weiden (Salix aurita und repens). Manche Pflanzen, besonders die Vacciniumarten, überziehen den Boden so dicht, daß hierdurch die Verdunstung erschwert wird; sie wirken torfbildend, indem sie unten absterben und oben weiter wachsen. Durch die dichten Massen dieser verschiedenen Pflanzen wird das Wasser über seinen ursprünglichen Stand gehoben; auch über diesem vermögen die Moosvegetationen sich zu entwickeln, es wird eine Erhöhung des Moores über den ursprünglichen Wasserstand eintreten. Im Pangerfilz bei Rosenheim ist die Mitte 5 bis 7 m, im Mauererfilz sogar 8 m höher als das Ufer des ursprünglich mit Wasser gefüllten Beckens. Diese Hebung, die Bildung von Hochmooren, hört erst auf, wenn die Schwerkraft der capillaren Aufsaugung des Wassers durch die Moose das Gleichgewicht hält. Sobald in der angedeuteten Weise der ganze Behälter mit den schwammigen wasserdurchtränkten Moosmassen angefüllt ist, dienen diese auch anderen Sumpfpflanzen als Unterlage.

Das Wesen der Vertorfung ist noch unvollständig bekannt. Wiegmann, Senft u. A. versuchten aus verschiedenen Pflanzen in kleinem Maßstabe Torf zu gewinnen; Früh (a. a. O., S. 25) gelangt aber zu dem Schluß,

daß dadurch keine Torfstoffe erhalten werden. Websky, Bohl[1]), Birnbaum (a. a. O.) u. A. suchten die Vorgänge der Torfbildung durch Aschenanalysen zu erforschen; da aber das Wasser einestheils bei der Torfbildung lösliche Stoffe (Alkalien) fortführt, andererseits die mannigfaltigsten Stoffe im Torf ablagert, so ist auch hiermit wenig gewonnen. Wiegmann untersuchte Torfe verschiedenen Alters; eine entsprechende Zusammenstellung von Websky[2]) zeigt folgende Tabelle:

Nr.	Fundort	Analytiker	C	H	O	N	Asche
1	Grunewald	Websky	49,88	6,54	42,42	1,16	3,72
2	Moor von Reichswald .	Walz	49,63	6,01	44,36		3,50
3	Grunewald	Websky	50,33	5,99	42,63	1,05	2,85
4	Harz	Websky	50,86	5,80	42,57	0,77	0,57
5	Havelniederung	Jäkel	53,31	5,31	41,38		5,51
6	Unbekannt	Soubeiran	53,50	5,40	38,70	2,40	unbek.
7	Havelniederung	Jäkel	53,51	5,90	40,59		5,33
8	Neulaugen	W. Bär	55,31	5,91	38,88		9,37
9	Flotow	W. Bär	56,80	4,73	38,57		11,17
10	Havelniederung	Jäkel	56,43	5,32	38,25		8,13
11	Moor bei Hamburg . .	Jäkel	57,12	5,32	37,61		1,89
12	Buchfeld	W. Bär	57,18	5,20	32,58		9,87
13	Moor bei Reichswald .	Walz	58,69	7,04	35,32	1,79	2,04
14	Holland	Mulder	59,27	5,41	35,32		unbek.
15	Friesland	Mulder	59,42	5,87	34,71		unbek.
16	Linum.	Jäkel	59,43	5,26	35,31		8,36
17	Linum.	Websky	59,47	6,52	31,51	2,51	18,53
18	Linum.	W. Bär	59,48	5,36	35,16		9,74
19	Moor bei Hundsmühl .	Websky	59,70	5,70	33,04	1,56	2,92
20	Linum.	Websky	59,71	5,27	32,07	2,59	12,56
21	Princetown	Vaux	60,00	6,00	33,80		10,00
22	Unbekannt	F. Vaux	60,02	5,99	31,51	2,56	10,29
23	Linum.	W. Bär	60,39	5,09	34,52		8,92
24	Boulcaire	Regnault	60,40	5,96	33,64		5,58
25	Friesland	Mulder	60,41	5,57	34,02		unbek.
26	Long	Regnault	60,89	6,21	32,90		4,61
27	Champ de Feu	Regnault	61,65	6,45	32,50		5,55
28	Harz	Websky	62,54	6,81	29,24	1,41	1,09
29	Moor von Reichswald .	Walz	63,86	6,48	27,96	1,70	2,70

Nr. 1. Sphagnum, im Sommer dem Grunewalder Moor bei Berlin entnommen.

„ 2. Aeußerst leichter Torf, keine Spur von Zersetzung zeigend, filzartiges Gewebe von Sphagnum.

[1]) Ann. d. Chem. 109, 185. — [2]) Journ. f. prakt. Chem. 92, 65.

Nr. 3. Erste Lage von Torf unter der lebenden Vegetationsdecke des Grunewalder Moors.

„ 4. Leichter Torf vom Harz, 800 m hoch über der Nordsee gestochen. Besteht fast nur aus Sphagnum.

„ 5. Leichter nur aus Pflanzenresten bestehender Torf.

„ 6. Lockerer rothbrauner Torf.

„ 10. Brauner schwerer Torf.

„ 13. Ziemlich leichter Torf.

„ 17. Ziemlich leichter Torf aus dem Linumer Torfstich. Er bildet eine dunkel rothbraune Masse, die unter dem guten schwarzen Torf liegt.

„ 19. Torf aus den Hochmooren Oldenburgs, schwarz, fest und hart. Enthält noch Spuren von Sphagnum, aber auch von Calluna vulgaris.

„ 20. Schwarzer Torf aus dem Linumer Moor. Beste Sorte dieses Lagers.

„ 23, 24, 25. Schwerer alter Torf.

„ 26. Schwerer schwarzer Torf mit einigen Pflanzenresten.

„ 27. Weniger zersetzter Torf mit wenigen Pflanzenresten.

„ 28. Brauner schwerer Torf, bester Torf des Oberharzes; die geringen Spuren von Pflanzenresten zeigen doch noch die Abstammung von Sphagnum.

„ 29. Sehr dichter schwerer Torf.

Danach beginnt die Zersetzung der Pflanzen, sobald sie von Wasser bedeckt werden. Aus der Zunahme des Kohlenstoffes und Abnahme des Wasserstoffgehaltes ist zu entnehmen, daß anfangs Methan und Wasser abgeschieden werden[1]); später wird auch Kohlensäure entwickelt. Nach Websky enthielt Gas unter einer Sphagnumdecke 2,97 Proc. Kohlensäure, 43,36 Proc. Methan und 53,67 Proc. Stickstoff. Nach Früh (a. a. O., S. 28) sind die wichtigsten den Torf charakterisirenden Umwandlungsproducte der Pflanzentheile die Ulminsäure[2]) und das Ulmin, Huminsäure und Humin, sowie Salze dieser Säuren[3]). Beachtenswerth ist, daß die Humussäuren, einmal getrocknet, sehr schwierig in Wasser löslich sind; schon Wiegmann schreibt: „Die Humussäure, einmal wirklich getrocknet, ist nur sehr schwer wieder in Wasser auflöslich“ (S. 17). Diese Eigenschaft ist allen geübten Torfstechern bekannt. Sie wissen, daß ein heftiger Regen die frisch abgelegten Torfziegel auswäscht und mürbe macht, daß hingegen einige Tage warmer Witterung eine Rinde erzeugen (Lorenz hält sie für einen „Harzbeschlag“, Flora 1858), welche den Torf zusammenhält und vor Auslaugung schützt.

Mulder[4]), welcher die humusartigen Stoffe zuerst studirt hat, lehrt schon, wie leicht Ulmin- und Huminsäure mit Alkalien zu in Wasser löslichen

---

[1]) Vergl. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 8, 634. — [2]) Ulminsäure wurde schon 1786 von Achard aus Torf hergestellt. — [3]) Dazu kommen die von Berzelius und Mulder beschriebenen Quellsäure und Quellsatzsäure als gewöhnlich in den Torfmooren auftretende Substanzen, welche mit gelber Farbe in Wasser löslich sind, und als Oxydationsprodukte jener beiden Säuren betrachtet werden, den Torf als solchen aber nicht weiter beeinflussen. — [4]) Ann. d. Chem. 1840; Journ. f. prakt. Chem. (1839) 17, 144).

Salzen sich verbinden, daß hingegen die entsprechenden Salze der Erdalkalimetalle und Metalle schwer löslich sind. Mulder und Senft haben ferner gezeigt, wie die ulmin- und huminsauren Alkalien gelöste Kalk-, Magnesia-, Eisen-, Mangansalze, ja selbst Silicate zersetzen und in die bezüglichen unlöslichen oder schwer löslichen Ulmiate und Humate verwandeln. Wiegmann fand schon, daß die Humussäuren zum Theil an Metallbasen gebunden seien, und Websky kam durch seine Analysen des Torfes zu der Ansicht, daß bei dem Torf, wo Kalk den Hauptbestandtheil der Asche bildet, sich dieser (falls er nicht als Gyps vorhanden) mit einem organischen Bestandtheil des Torfes (Huminsäure) chemisch verbinde. Diese Thatsachen erklären: Die geringe Menge Alkalien, welche von sämmtlichen Analytikern in den Torfaschen, gleichviel ob Hochmoor- oder Rasenmoortorf, gefunden wurde; ferner die verhältnißmäßig größere Menge Alkalisalze, das Vier- bis Fünffache, im Rückstand des eingedampften Torfwassers (Sendtner), sowie die allen Torfstechern geläufige Erscheinung, daß die Gesteine des Untergrundes sehr mürbe, ja häufig schneidbar geworden sind, in Folge ihrer chemischen Zersetzung durch die eindringenden humussauren Alkalien. Nach Conrad und Gutzeit[1]) schwankt die Zusammensetzung der Huminstoffe, welche sich neben noch unveränderter Holzfaser im Torf und in der Braunkohle u. s. w. finden, zwischen 62,3 bis 66,5 Proc. Kohlenstoff und 3,7 bis 4,6 Proc. Wasserstoff.

Die Cellulose ulmificirt sehr vollkommen und um so leichter, je jünger und saftreicher die betreffenden Zellen sind; ligninhaltige Stoffe vertorfen schwierig. Das Zellgewebe der Laubmoose vertorft langsam, sie gehören aber zu den besten Torfbildnern. Sphagneen können vollständig und homogen vertorfen. Harze und wachsartige Stoffe bleiben unverändert. Die Gerbstoffe verwandeln sich vollkommen in Humusstoffe. Bitumen ist im Torf nicht vorhanden. Holztheerartige Stoffe (Senft, S. 126) ergeben sich aus dem frischen Torf bei bloßem Erwärmen nicht, sondern erst bei einer Temperatur, wo er sich zu zersetzen beginnt; sie sind also nicht vorgebildet.

Durch Destillation des Torfes aus dem Aven-Thale (Finistère) mit überhitztem Wasserdampfe im luftverdünnten Raume hat E. Durin[2]) eine weiße, paraffinartige Masse gewonnen, welche die Reactionen von Fettsäuren zeigte. Eine ähnliche Masse wird durch Ausziehen von Torf bildenden Moosen mit Aether erhalten; sie bildet sich daher nicht erst bei der Umwandlung der Torfmoose zu Torf; Durin gibt ihr die Formel $C_{47}H_{94}O_2$. Nach Guignet[3]) entzieht Benzol dem Torf der Somme in geringer Menge eine wachsartige Substanz. De Molon beobachtete, daß die Torfe der Bretagne an Benzol und ähnliche Lösungsmittel eine braune harzige Substanz in größerer Menge abgeben. Dieser Torf liefert bei der Destillation im leeren Raum mit überhitztem Dampf eine erhebliche Menge von Paraffin. Mit 90grädigem Alkohol gibt der Torf der Somme eine hellgrüne Lösung, welche nach dem Erkalten eine erhebliche Menge von Pflanzenwachs abscheidet, gleich

---

[1]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1886, 2844. — [2]) Compt. rend. 96, 652. — [3]) Compt. rend. 91, 888; Annal. industr. 1880, 757.

dem, wie man es in den Blättern findet. Die grüne Substanz zeigt die Eigenschaften des Chlorophylls.

Der Stickstoffgehalt des Torfes wird in der Regel von dem Stickstoffgehalt der betreffenden Pflanzentheile herrühren, der im Vergleich mit andern Pflanzen nicht über 1 Proc. betragen wird, wahrscheinlich aber durch den der thierischen Einschlüsse vermehrt werden (mit Schwefel!). Diese sind nicht so selten wie Senft meint, und bisweilen in erheblichen Mengen vorhanden in Hoch- und Rasenmoortorf. Sie bestehen dann hauptsächlich aus Chitinskeletten von Milben, Larven, Mücken u. dergl., Schalen von kleinen Krustern. Nach H. Ritthausen[1]) ist die Anhäufung von Stickstoff in manchen Torfen als eine Folge der Absorption von Ammoniak durch huminsaure oder ähnliche Salze, wobei ersteres chemisch gebunden wird, anzusehen. Der Umstand, daß aus Torf oder ähnlichen Massen bei der Behandlung nach gewissen Methoden, die man gewöhnlich zur Gewinnung und Bestimmung von Ammoniak einschlägt, davon nur geringe Mengen erhalten werden, beweist nichts gegen diese Annahme, sondern spricht nur dafür, daß die ursprünglich gebildeten Ammoniaksalze als solche nicht bestehen bleiben, vielmehr bei Fortdauer des Zersetzungsprocesses in den Kreis der Zersetzung mit hineingezogen werden und unter Abscheidung vielleicht von wenig Kohlensäure, oder von Sumpfgas, die stickstoffreichen unlöslichen Humusstoffe als Restproducte, in denen Ammoniak als solches nicht mehr existirt, hinterlassen. Dagegen meint M. v. Sivers[2]), der Stickstoff des Torfes stamme lediglich von dem Stickstoff der bezüglichen Pflanzen, da bei der Vertorfung wesentlich die stickstofffreien organischen Stoffe zerstört würden. A. Pagel[3]) findet, daß Torf keinen atmosphärischen Stickstoff aufnimmt, aber sehr begierig Sauerstoff, unter Entwicklung von Kohlensäure. Ferner bilden sich bei Luftabschluß in der Moorsubstanz durch Reduction von schwefelsauren Salzen Schwefelverbindungen, die zum Theil als Schwefelwasserstoff, zum Theil als Schwefelmetalle auftreten.

Man unterscheidet: Wiesen- und Hochmoore.

1. Die Wiesen-, Gras-, Grünlands- oder Niederungsmoore finden sich nach Birnbaum stets in der Nähe von Gewässern; sie folgen dem Laufe der Flüsse, erzeugen auf ihrer Oberfläche eine Menge saurer Gräser und bilden nasse, saure Wiesenländereien. Hat ihr Boden keinen torfartigen Zusammenhang, so bezeichnet man solche Grundstücke als Bruch. Die Bildung derselben erfolgt meist von den Ufern der Gewässer aus, doch gibt es auch Landseen, in denen sich der Torf von der Mitte aus erzeugte. Ländereien, die so niedrig liegen, daß sie während des Winters und Herbstes vollständig unter Wasser stehen und auch im Sommer sich sumpfig halten, eignen sich ebenfalls für diese Art der Torfbildung. Die Niederungsmoore erreichen in Norddeutschland eine Tiefe von 2 bis 3 m, in Südbayern nach Sendtner sogar eine Tiefe bis zu 10 m. Die Torfmasse ist tief schwarz, getrocknet fällt sie leicht aus einander; in der Heizkraft steht dieser Torf dem auf Hochmooren gewonnenen

[1]) Biedermann's Centralbl. 1878, 95. — [2]) Landw. Versuchsst. 24, 183. — [3]) Landw. Jahrb. 6, Supplementheft S. 351.

nach, da ihm die wachs- und harzartigen Beimengungen des letzteren fehlen. Der weiße Ueberzug, der sich zuweilen auf den von ihnen gewonnenen Torfstücken zeigt, rührt gewöhnlich von kohlensaurem Kalk her, der mit dem Wasser in sie gelangte. Der Untergrund dieser Moore liegt in und unter der Höhe des Sommerwasserspiegels.

2. Die Hochmoore sind bedeckt mit Haidekräutern (Calluna, Erica, Andromeda und Vaccinium), bei ihnen tritt das Sumpfmoos Sphagnum in großer Menge auf. Außerdem zeigt sich auf ihnen die Kiefer, namentlich die Zwergkiefer (vergl. S. 432). Ihr Untergrund liegt über dem Sommerwasserspiegel; in der Mitte sind sie höher als an den Rändern. Meist ist die Torfmasse dicht unter der Pflanzendecke gelblich; man kann in ihr ganz deutlich die Structur der Pflanzenreste erkennen; bei 1,25 bis 1,75 m Tiefe ist sie rothbraun, von da an bis zum Untergrunde nimmt die Tiefe der Färbung zu, der ganz untere ist pechschwarz, fest und vollständig amorph, doch findet man auch, daß unmittelbar auf der Unterlage und dem amorphen Torf noch Moostorf sich befindet, der von gelblicher Farbe ist und in dem man noch deutlich die Ueberreste von Moos erkennt; zuweilen finden sich auch Moostorfschichten zwischen schwarzem Torf. Diese Erscheinung hat darin ihren Grund, daß das Moos sich sehr schwer zersetzt und daß die Moosvegetation im Laufe der Torfbildungsperiode je nach den Feuchtigkeitsverhältnissen zu verschiedenen Zeiten üppiger oder dürftiger fortkam, in welchem letzteren Falle dann die Haidekräuter und andere Gewächse an deren Stelle traten.

Auf diese Weise entstanden auch die sog. Mischlingsmoore, die theils aus Grünlandsmooren, theils aus Hochmooren bestehen. So führt Sendtner an, daß in den südbayerischen Mooren auf Wiesenmooren sich Inseln von Hochmooren und umgekehrt vorfinden.

In Rücksicht auf die Pflanzenart, welche vorwiegend bei der Bildung des Torfes wirkte, unterscheidet man: Moos-, Haide-, Schilf-, Gras-, Holz-Torf; je nach dem Grade seiner Zersetzung und nach der Tiefe der Schichten, aus denen er stammt, bezeichnet man ihn als amorphen Torf, Speck- oder Pechtorf, wenn in den unteren Schichten des Lagers die Zersetzung der Pflanzen bis zur Vernichtung der Structur vorgeschritten ist, so daß die Schnittfläche des Torfes glänzend erscheint; als Fasertorf, Rasen- oder Moostorf, wenn die Structur der Pflanzenreste in ihm noch deutlich erkennbar ist; er besteht dann in seiner ganzen Masse aus einem lockeren, filzartigen Gewebe von hellerer Farbe, dessen specifisches Gewicht leichter ist als das des Pechtorfes; Torf von solcher Beschaffenheit findet sich namentlich in den oberen Schichten des Lagers.

Die Moosbrüche in der Provinz Preußen sind den bayerischen Moosbrüchen oder Filzen ähnlich; die Torfmasse ist sehr wasserhaltig, oft breiartig.

Pulvermoore bestehen aus einer vollständig ausgetrockneten, pulverigen, structurlosen Moormasse.

Nach J. Früh (a. a. O., S. 4) kann auf kalkigem Untergrund oder kalkhaltigem Wasser keine Sphagnumvegetation, mithin kein eigentliches Hochmoor entstehen. Er unterscheidet:

Hochmoor: 1. In Seen und Teichen mit kalkfreiem Wasser. Die Bildung eines Sphagnetums beginnt am Rande und schreitet nach innen fort, um eine schwimmende Decke zu bilden, auf der sich Algen, Droseraceen, Vaccineen, vielleicht auch Eriophorum vaginatum ansiedeln, das Gewicht vermehren und die Pflanzendecke zum Sinken bringen, die bald wieder durch eine neue ersetzt wird. In der schweizerisch-schwäbisch-bayerischen Hochebene und den präalpinen Gebieten ist diese Art der Hochmoorbildung hauptsächlich durch Sphag. cuspidatum Ehrh. vermittelt und von untergeordneter Bedeutung. In den größeren Wasserbecken der norddeutschen Seenplatten scheint sie ziemlich häufig aufzutreten.

2. Auf kalkfreiem Untergrunde, der von weichem Wasser berieselt wird. (Hierher gehören zum Theil die Haidemoore Griesebach's, begründet durch Erica tetralix und Calluna vulgaris, in deren Schatten jedoch die Sphagneen sich ebenso gut ansiedeln als sie es in den Voralpen thun, sobald eine humusartige Unterlage geschaffen worden.) Der Untergrund muß also Thon sein oder Sand, welcher wie in Norddeutschland mittels fettem, thonigem Schlamm (Knick) wasserdicht gemacht wurde.

Wiesenmoor oder Grünlandsmoor: 1. In Seen mit kalkreichem Wasser. Die Torfbildung beginnt bei tieferen Becken wieder vom Ufer aus, und zwar vorzugsweise durch Cyperaceen (Carex, Scirpus), Phragmites mit Hypneen, namentlich Hyp. fluitans, scorpioides u. a., welche allmählich eine zähe, schwingende Decke bilden, die wieder untersinkt — an seichten Stellen nebst diesen Gattungen durch Potamogetoneae, Juncagineae, Alismaceae, Typhaceae, Iris, Utricularia, Myriophyllum u. s. w. Hierher gehören z. B. die Vertorfungen von Seen der schweizerisch-bayerischen Hochebene, der Moränenseen Oberitaliens, deren Grund mit der sog. Seekreide belegt ist, und wohl auch der größte Theil jener Torfränder, welche die großen irischen Seen einschließen u. s. w.

2. Wo die Erdoberfläche — gleichviel ob kalkiger oder thoniger Beschaffenheit — fortwährend oder wiederholt durch hartes Wasser befeuchtet wird, entstehen die „sauren Wiesen", die Wiesenmoore, Grünlandsmoore oder Rasenmoore (Lorenz), je nach dem speciellen pflanzengeographischen Charakter, vorherrschend aus Cyperaceen, Phragmites, Hypneen gebildet. Hierher sind für die Schweiz zu zählen, außer jenen zahlreichen localen Versumpfungen des Hügellandes, welche auf den ersten Blick glaciale Ablagerungen verrathen, die zahlreichen kleinen Torfmoore der Alpen bis zur Schneelinie, die Moore auf den Alluvialgebieten der größeren Flüsse, die Moore des Berner Seeland u. s. w., die gewaltigen Wiesenmoore längs der verschiedenen europäischen Flüsse und Ströme u. s. f.

Mischmoore: Viele Hochmoore in Ungarn, Böhmen, den Ost- und Centralalpen, Jura, Ostpreußen, Holland, ruhen auf mehr oder weniger entwickelten Rasenmooren. Sehr wahrscheinlich haben die meisten Hochmoore eine Rasenmoorbildung als Ausgangspunkt, so daß die Moore dann primär allgemein Rasenmoore sind und erst durch Aenderung der chemischen Beschaffenheit des zufließenden Wassers, secundär, in Hochmoore übergehen können.

Torfuntersuchungen	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Wasser	Asche	
Prov. Preußen, Moostorf von Labiau	43,61	5,17	1,51	35,98	13,36	1,37	Ritthausen (Centralbl. f. Agricultur 3, 180)
" " " bei Posniken . 0,6 m	45,16	4,65	1,13	30,40	16,94	1,72	
" " " " " 0,6—1,2 m	44,33	4,48	1,12	30,15	18,19	1,73	
" " " " " 1,2—2,4 m	45,86	4,65	1,27	30,59	15,89	1,74	
" " brauner Torf bei Waldau . .	41,02	4,27	2,58	23,79	16,42	11,92	
" " dunkelbrauner Torf von Wolla .	46,83	4,52	1,87	26,85	14,75	5,18	
" " Preßtorf bei Königsberg . . .	48,20	4,70		27,0	15,0	4,80	Gräbe
Linum-Flatow I.	50,36	4,20		34,27	trocken	11,17	Heintz (Bri[…] S. 378)
" " II.	53,69	4,84		31,73		9,74	
" " III.	55,01	4,63		31,44		8,92	
Buchfeld-Neulangen I.	51,54	4,69		33,90		9,87	
" " II.	50,13	5,36		35,24		9,27	
Edensee	48,34	6,20		29,66	13,96	1,69	Aigner[1])
Bayern, Preßtorf von Kolber-Moor	55,60	5,87	0,85	32,70		4,98	R. Wagner
" " " Hassel-Moor	58,94	5,15		31,95		3,96	
" Stichtorf von Olching	44,78	6,56		44,96		3,70	Heizversuchsstation (Bayer. Ind. Gew.-Bl. 1879, S. 245)
" " " Staremberg	39,61	6,62		49,69		4,08	
" " " Seeshaupt	45,60	6,75		45,81		1,84	
" " " Erding	42,53	6,39		44,16		6,92	
" " " Saline Rosenheim . . .	44,29	6,91		47,92		0,88	
" Maschinentorf von Saline Rosenheim .	43,87	6,85		46,15		3,13	
Baden, Muggenbronn	57,88	6,48	6,33	25,79	trocken	3,52	Petersen u. Keßler (a. Birnbaum)
" Tiefenau	53,58	6,33	1,54	26,30		12,24	
" Dürrheim	51,61	4,99	2,09	32,33		8,98	
" Schluchsen	55,93	5,78	1,04	36,35		0,89	
" Stockach	50,37	5,60	2,26	32,56		9,21	
" Constanz[2])	46,75	3,57	2,68	32,23		14,76	
" Willaringen	60,79	7,01	0,67	30,46		1,07	
Württemberg, dichter Torf von Schöpfloch . . .	53,59	5,60	2,71	30,32		8,10	Breuninger
" mittlerer Torf von Sindelfingen .	45,44	5,28	1,46	26,21		21,60	
Rheinpfalz, dichter Torf von Rammstein . . .	62,15	6,29	1,66	27,20		2,70	
" leichter Torf von Steinwenda . . .	57,50	6,90	1,75	31,87		2,04	
" leichte Filzmasse von Riedermoor .	47,90	5,80		42,80		3,50	

Es gibt auch einen eigentlichen **Algentorf**, gebildet aus niedern, eine Gallerthülle absondernden Formen. Das ist der einzige gallertartige und — nach dem Trocknen — mit Wasser wieder die frühere Beschaffenheit annehmende Torf.

Bei der Vertorfung findet nach **Früh** keinerlei **Gährung** statt, wie **Wiegmann**, **Senft** u. A. behaupten, es ist lediglich eine sehr langsame Zersetzung der Pflanzen unter möglichst völligem Abschluß von Sauerstoff durch

[1]) Fischer's Jahresber. 1890, 2; der Torf enthält auch 0,15 Proc. Schwefel. — [2]) Bemerkenswerth wegen des wenigen Wasserstoffes.

Torfanalysen (Trockensubstanz)	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Asche	
Dichter Torf von Bremen	57,84	5,85	32,76	0,95	2,60	Breuninger
Desgleichen	57,03	5,56	34,15	1,67	1,57	
Grunewald	49,88	6,50	42,42	1,16	3,72	Websky
Harz	50,86	5,80	42,70	0,77	0,57	
Desgleichen	62,54	6,81	29,24	1,41	1,09	
Linum	59,47	6,52	31,51	2,51	18,53	
Hundsmühl	59,70	5,70	33,04	1,66	2,92	
Finnland, vom Ladogasee	49,92	5,95	—	1,88	0,57 bis 58,71	Johanson (Pharm. Z. Rußl. 1883)
Fast schwarzer Torf aus Produln in Kurland	48,23	5,34	26,34	2,33	17,73	Thoms (Landw. Verſ. Riga, 1887)
Schwarzbrauner Torf aus Kurland	49,69	5,33	30,76	1,01	13,23	
Fast schwarzer Torf aus Koltzen in Livland	56,00	6,04	27,16	2,30	8,50	
Heller Moostorf aus Kurtenhof in Livland	50,38	6,96	40,98	0,82	0,84	
Long, dunkelbrauner Torf	58,09	5,93	31,77		4,61	Regnault (nach Hausding)
Voulkaire bei Abbeville, dunkelbrauner Torf	57,03	5,63	29,67	2,09	5,58	
Champ du Feu bei Framont	57,79	6,11	30,77		5,33	
Friesland, dichter Torf	57,16	5,65	33,39		3,80	Mulder (nach Hausding)
Holland	50,85	5,64	30,25		14,25	
Friesland, leichter Torf	59,86	5,52	33,71		0,91	
Princetown bei Tavistock	54,00	5,40	30,40		10,00	Vaux
Torf von Cappege in Irland	51,05	6,85	39,55		2,55	Kaun
Torf von Kulbeggen in Irland	61,04	6,67	30,46		1,83	
Blaßrothbrauner Torf mit Wurzeln von Philippstown in Irland	58,69	6,97	32,88	1,45	1,99	
Tiefschwarzbrauner, fester, dichter Torf von Wood of Allen in Irland	61,02	5,77	32,40	0,81	7,90	

Wasser und bei einer niederen Temperatur. Spaltpilze haben mit der Torfbildung nichts zu thun. Daher ist keine Wärmebildung zu bemerken und entstehen vorherrschend Ulminkörper (weniger Huminsubstanzen). Weder Frost noch Druck üben auf die Vertorfung einen nachweisbaren Einfluß aus. Die untersten oder ältesten Schichten eines Torfmoores sind nicht immer am stärksten vertorft[1]).

Torf bildet sich auch noch heute; die Zeitdauer, welche zur Bildung eines Torflagers erforderlich ist, hängt aber von den verschiedensten Umständen ab, so daß sie jedenfalls ungemein verschieden ist. Auf einigen Mooren bemerkte man einen Zuwachs von 0,75 m in 100 Jahren, während man unter besonders günstigen Verhältnissen in anderen Gegenden schon in 30 bis 50 Jahren einen

---

[1]) Dopplerit ist ebenfalls ein Vertorfungsproduct und besteht nach Früh (a. a. O. S. 80) wesentlich aus Ulmiaten (vergl. Fischer's Jahresb. 1883, 1206).

gleichen Zuwachs von 0,75 m erhielt. An manchen Orten sind noch bessere Resultate gewonnen, man beobachtete in einem Zeitraume von 70 Jahren eine Zunahme des Moors um 2 m, ja in 30 Jahren von 1,25 bis 2 m.

Die Analysen verschiedener Torfproben sind in den Tabellen S. 438 und S. 439 zusammengestellt.

Da Rasenmoortorf der Verunreinigung durch schlammiges Wasser, durch Sand, Staub u. dergl. ausgesetzt ist, so gehören die aschenreichen Torfe durchweg hierzu, während die aschenarmen Hochmoortorf sind. Nach H. Krause[1]) hatte die Asche verschiedener Schichten eines Torfmoores folgende Zusammensetzung:

	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5	CaO
Oberste Schicht	12,17	39,68	8,17	6,22	21,99
Schicht von 0 bis 1 m	10,89	46,07	4,89	3,83	22,03
Schicht von 1 bis 2 m	10,20	32,62	4,12	4,19	31,52
Schicht von 2 bis 3 m	9,01	28,82	3,55	4,59	35,05
Schicht von 3 bis 6 m	4,80	32,07	2,84	3,99	34,38
Untergrundschicht	9,14	28,00	3,37	4,75	25,75

	MnO	MgO	KCl	$NaCl$	SO_3
Oberste Schicht	0,95	2,89	1,84	3,23	2,79
Schicht von 0 bis 1 m	0,29	6,20	0,72	1,47	3,72
Schicht von 1 bis 2 m	0,39	8,53	1,15	2,20	5,09
Schicht von 2 bis 3 m	0,49	7,04	1,79	3,50	6,30
Schicht von 3 bis 6 m	0,19	7,63	2,25	4,32	7,34
Untergrundschicht	0,34	8,00	3,11	5,62	6,05

Nach Wolff enthielten zwei Torfaschen aus der Mark (I und II) und nach R. Wagner eine Torfasche von Preßtorf aus Kolbermoor in Ober-Bayern (III):

	I	II	III
Kalk	15,25	20,00	16,37
Thonerde	25,70	47,00	45,45
Eisenoxyd	5,50	7,59	7,46
Kieselerde	41,00	13,50	20,17
Calciumphosphat mit Gyps	3,10	2,60	—
Alkali, Phosphorsäure, Schwefelsäure u. s. w.			8,55

[1]) Landw. Versuchsst. 39, 440.

Analysen von Torfaschen nach Senft.

Aschenbestandtheile	Torf aus dem Havellande					Bei Cassel	Bei Hamburg
	schwerer dichter, brauner Torf mit wenig Pflanzenresten	leichter, lockerer, fast nur aus Pflanzenresten bestehender	Filz von Moosen und Riedgräsern	schwerer, aus dem Moor von Linum	schwerer, aus dem Moor von Frisack		
Kali	0,85	0,20	0,25	0,28	0,51	0,15	3,64
Natron	—	0,84	0,26	0,27	0,58	0,50	5,73
Kalk	45,73	33,29	37,00	39,34	33,32	5,81	14,72
Magnesia	—	3,03	3,04	2,43	1,65	0,69	24,39
Eisenoxyd	6,88	25,28	8,65	13,23	22,28	71,29	4,88
Thonerde	0,90	1,38	2,35	1,46	1,14	1,73	2,14
Kieselsäure	2,26	1,03	0,62	1,61	2,70	0,74	—
Schwefelsäure	8,68	5,69	4,49	5,79	5,23	10,98	17,94
Chlor	0,64	0,29	0,31	0,39	0,21	0,06	2,07
Kohlensäure	17,12	18,79	30,59	20,47	18,27	—	—
Phosphorsäure	3,58	1,13	1,07	5,47	1,43	6,29	3,83
Kohle	—	—	0,58	—	0,58	—	0,49
Sand	14,42	6,79	9,00	4,08	11,94	1,78	16,11
Lufttrockener Torf enthielt							
Asche	8,13	5,33	5,51	8,36	8,91	18,27	1,89
Wasser	17,63	19,32	18,89	31,34	21,82	26,60	18,83

Eine Brennwerthbestimmung des Verf.[1]) von Preßtorf aus Gifhorn gab als Brennwerth 5430 *w*, bezw. auf flüssiges Wasser als Verbrennungsproduct und 4961 *w* bezw. auf Wasserdampf von 20°. Die Tiegelprobe (sog. Immediatanalyse) ergab:

Wasser	11,90
Flüchtig	58,58
Koks, aschefrei	27,01
Asche	2,51

Die Elementaranalyse:

Kohlenstoff	56,02
Wasserstoff	5,57
Stickstoff	1,11
Sauerstoff	34,60
Asche	2,70

[1]) Fischer's Jahresber. 1893, 6.

Die Dulong'sche Formel (vgl. S. 425) ergibt nur 4953 *w* bezw. auf flüssiges Wasser oder nach den Berthelot'schen Zahlen (S. 408) 5072 *w*. Zuverlässige Brennwerthe sind somit auch für Torf nur durch Bestimmungen mittels Calorimeter zu erzielen; die Dulong'sche Formel gibt bestenfalls Näherungswerthe.

Bei der Gewinnung des Torfes ist zu berücksichtigen, daß Torf mit 80 bis 90 Proc. Wassergehalt am leichtesten zu verarbeiten ist. Trocknet das Moor zu stark aus, so wird die Verarbeitung schwer, zuweilen sogar unmöglich, weil trockener Torf die Bindekraft verliert. Gefrorener Torf ist nach dem Aufthauen in Folge der Lockerung ebenfalls schwieriger zu verarbeiten, gibt namentlich keinen Stichtorf, so daß es oft vortheilhaft ist, wenn das Torfmoor im Herbst mit Wasser überstaut wird. Andererseits ist vor der Gewinnung des Torfes meist eine Entwässerung des Moores durch Gräben u. dergl. erforderlich. Entsprechende Abfuhrwege u. dergl. sind selbstverständlich [1]).

Fig. 289.

Der Torf wird durch Handarbeit (Handtorf) oder mittels Maschinen gewonnen (Maschinentorf u. dergl.). Da nasser Torf durch Frost den Zusammenhang verliert, somit minderwerthig und selbst werthlos wird, so beginnt die Torfgewinnung, wo keine künstliche Trocknung eingeführt ist, nur in frostfreier Zeit.

Handtorf wird besonders durch Ausstechen der Stücke aus dem Moore gewonnen. Bei dem besonders in Süddeutschland üblichen senkrechten Stich steht der Arbeiter dabei auf der abzugrabenden Fläche, der sogenannten Stichbank, die eine Breite von 2 bis 4 m hat. Vor dem Stechen wird die obere, das Moor bedeckende, häufig mit Pflanzen bestandene, leichte, nicht zur Fabrikation sich eignende Schicht, die Bunkerde, mit dem Spaten entfernt. Zum Stechen gebraucht der Arbeiter das Torfeisen, Fig. 289. Dasselbe ist an beiden Enden im rechten Winkel gebogen, etwa 10,5 cm lang und 11,76 cm breit, die Seiten sind scharf geschliffen. Mit diesem Eisen, das an einem kurzen Stiele befestigt ist, stößt der Arbeiter in etwas schräger Richtung in den Torf, reißt mit einem Ruck das durch die Seiten des Eisens vollständig losgeschnittene Torfstück unten, wo es noch an dem Moore festsitzt, ab und legt es als fertige Sode neben sich nieder. Nach Angaben auf dem Donaumoore in Bayern kann ein Mann unter Beihülfe einer Frau, die das Abräumen der Stichbank und sonstige Nebenarbeiten verrichtet, 5000 bis 8000 Stück Torf täglich stechen [2]). Für das Tausend zu stechen zahlt man 50 bis 60 Pf., dazu für Trocknen und sonstige Nebenarbeiten noch 68 Pf., zusammen also etwa für 1000 lufttrockene Soden 1,28 Mk. Die Torfstücke haben im frischen Zustande eine Länge von 40 bis 45 cm, eine Breite von 11,76 cm und eine

---

[1]) Vergl. Birnbaum a. a. O. S. 38; Hausding a. a. O. S. 19. — [2]) Nach Hausding sticht ein Arbeiter nur 2000 bis 4000 Soden bei 11 stündiger Arbeit; er gebraucht im Sommer ein Arbeitsfeld von etwa 240 a.

Dicke von 10,5 cm. Für 1000 Stück getrockneten Torf werden an Ort und Stelle 3,5 bis 5 Mk. bezahlt. Nachfolgende Zusammenstellung von Hausding gibt einen Ueberblick über die Gewinnungskosten des Stichtorfes in verschiedenen Mooren:

Torfwerk oder Moorbezirk	Mittleres Gewicht eines Cubikmeters Trockentorf kg	Gewinnungskosten von lufttrockenem Torf		Bemerkungen
		für 1 cbm	für 100 kg	
Deger Moor	245	2,70	1,10	einschließlich aller Nebenkosten und Transport zur Bahn
Werthensteiner Moor .	240	2,20	0,90	desgl.
Aiblinger Moor	240	1,40	0,60	lufttrocken in Haufen gesetzt einschließlich aller Nebenkosten
Kolber Moor	240—250	1,40	0,56—0,60	desgl. einschließlich aller Generalunkosten
Rosenheimer Moor . .	225	1,00	0,45	reiner Arbeitslohn für Trockentorf in abgedeckten Haufen
Raublinger Moor . . .	230	1,25	0,54	desgl.
Bührmoos	200	1,0—1,20	0,50—0,60	Arbeitslohn in abgedeckten Haufen
		1,60	0,80	einschließlich Entwässerungs- und sonstigen Betriebskosten
Chlumetz-Wittingen . .	400	1,40	0,35	im Moore in Prismen gesetzt
Buchscheiden	165	1,00	0,60	im Moore in Lagerschuppen gebracht
		1,64	1,00	auf dem Eisenwerke einschließlich aller weiteren Unkosten
Freudenberger Moor .	275	1,08	0,40	Arbeitslohn für Stich- oder Formtorf in Trockengerüste eingebracht

Der wagerechte Stich ist fast allgemein in Mittel- und Norddeutschland verbreitet. Nachdem die Oberfläche der Stichbank mit dem Spaten von der Bunkerde gesäubert, schneidet ein Arbeiter mit dem Stech- oder Vorstechspaten senkrecht die Torfstücke ihrer Länge und Breite nach ab, und zwar indem er damit am äußeren Rande der Stichbank beginnt. Ein anderer Arbeiter löst diese Theile mittels eines Eisens, des Auflegespatens, wagerecht ab und bringt sie nach oben.

Der Stichtorf wird im Freien, zuweilen auch in Schuppen vor Regen geschützt getrocknet.

Ist das Stechen des Torfes nicht ausführbar, weil die Masse zu schlammig oder zu ungleichartig ist, so wird sie durch Netze gehoben (Baggertorf) oder gegraben, zerkleinert und durch Treten mit den Füßen in eine gleichartige Masse verwandelt, dann wird sie in Stücke geschnitten oder mit der Hand, ähnlich dem Ziegelthon, in Formen gestrichen (Streichtorf). Nach dem Trocknen ist der geformte Torf dichter und daher werthvoller als der Stichtorf.

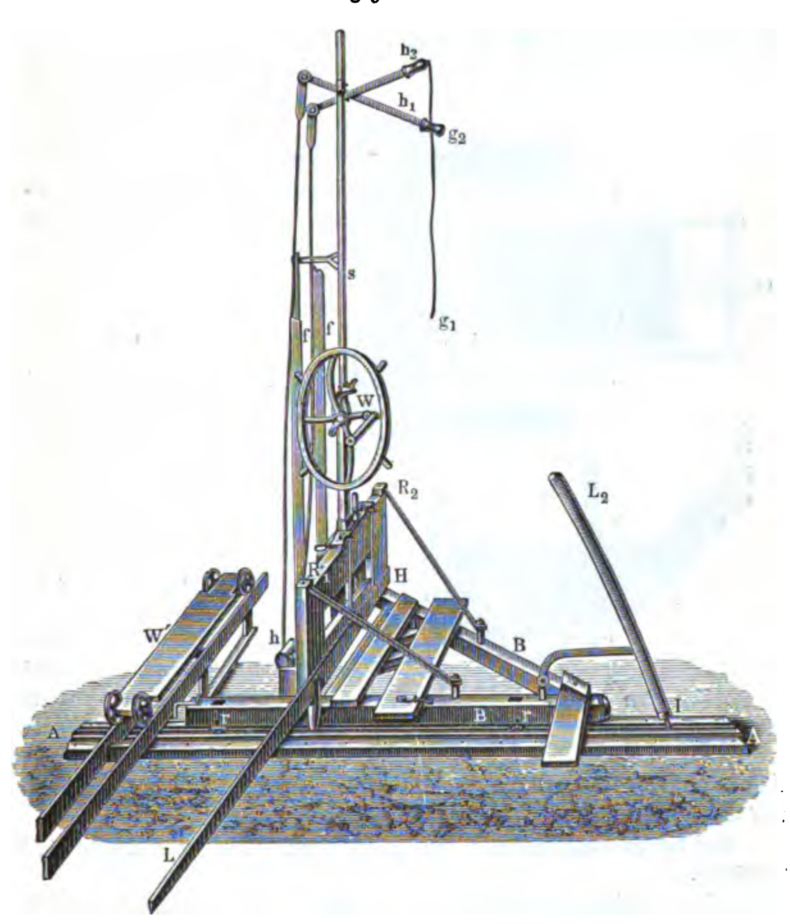
Vogel (a. a. O. S. 33) führt an, daß nach den beim Hüttenwerke Ebenau im Salzkammergute angestellten Versuchen sich die Arbeitskosten des Stichtorfes zu jenen des gebaggerten und gestrichenen Torfes wie 5 : 6 verhalten; dagegen gebraucht der erstere um 20 Proc. mehr Zeit zur Trocknung als der geschlagene und die Leistung verhält sich wie 5 : 3. Die Erfahrungen beim Betrieb der bayerischen Staatseisenbahnen stimmen hiermit nicht ganz überein; die Kosten beider Torfsorten stellen sich dort beinahe gleich. Die Qualität des gebaggerten Torfes (sog. Modeltorfes) ist zwar ungleich besser, als jene des Stichtorfes, jedoch nicht in dem Verhältnisse wie 5 : 3, sondern höchstens wie 5 : 4. Wahrscheinlich rührt dieses daher, daß in Bayern der Torf im Freien getrocknet wird, in Ebenau auf Trockengestellen.

Für die Gewinnung von Stichtorf durch Maschinen hat sich besonders die Brosowsky'sche Torfstechmaschine bewährt (D. R.-P. Nr. 16790, 19668, und 63737). Der wesentlichste Theil dieser Maschine ist der in Fig. 291 (a. S. 446) *A* und *B* in etwas größerem Maßstabe gezeichnete Schneideapparat, dessen Seitenmesser *ab*, *bc* und *cd* verschiedene Neigung gegen den Horizont haben und gleichsam einen nach oben, unten und vorn offenen Kasten bilden. Der hintere Theil dieses Kastens ist an einer schmiedeisernen Stange *s* befestigt, deren Ende zugeschärft ist und das Schneiden beim Eindringen des Schneideapparates in den Torf vorbereitet, indem es zugleich eine Art Führung in der Torfmasse darbietet. Die Verlängerung der Stange *s* bildet eine schmiedeiserne Zahnstange, in welche ein Getriebe *g*, welches auf der Kurbelradwelle *W*, Fig. 290, befestigt ist, eingreift. Durch Vor- oder Rückwärtsbewegung des Kurbelrades kann mittels des Getriebes und der Zahnstange und einer am Maschinengerüst angebrachten Führung der Schneideapparat gehoben und gesenkt und unter Benutzung des Gewichtes des Schneideapparates und der Zahnstange in den Torf bis zu einer Tiefe von 6 m getrieben werden. Zu bemerken ist, daß der Apparat nur an der Seite eines Grabens oder an einem vorher gegrabenen Loche beginnend schneiden kann, da sich die Verlängerung ll_1 des Schneideapparates in diesem von Torf leeren Raume nach unten bewegen muß. Das Messer *abcd* hat also nur an drei Seiten zu schneiden; an der einen Seite, wo die Verlängerung ll_1 sich befindet, wird das breite, ebene Bodenmesser *mn*, welches an beiden Seiten zugeschärft ist, angebracht. Das Ende dieses Messers bewegt sich in Nuthen und dient zum Abschneiden der Basis des von dem Schneideapparat beim Abwärtsgehen losgetrennten Torfprismas.

Seine Bewegung erhält das Messer *mn* durch zwei Ketten *h* und *i*, welche, an ihm im Punkte *p* befestigt, über zwei lange cylindrische Walzen *v*

und w geleitet sind und durch die Hebel $h_1 h_2$ (Fig. 290) mittels der Seile und Handhaben $g_1 g_2$ vor- und rückwärts gezogen werden. Während der Schneideapparat mittels des Zahnradgetriebes und des Kurbelrades nach oben gezogen wird, dient das Messer mn zugleich als Träger für das abgeschnittene Torfstück; damit dieses nicht umfalle, sind die Führungen f angebracht. Je nach der Tiefe, in die der Schneideapparat in dem Moore eingedrungen ist, hat das

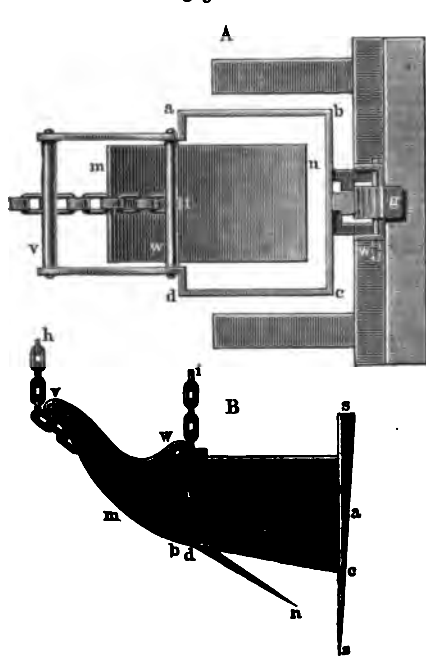
Fig. 290.



emporgehobene Torfprisma eine Länge von 3 bis 6 m und einen Querschnitt von ungefähr 60 × 70 cm, es wird durch Handarbeit in Stücke von 35 cm Länge und 15 × 12½ cm Stärke zerlegt. Jedes so ausgestochene Parallelepiped aus Torf liefert auf je 3 m Länge 144 obiger Torfsoden. Diese werden auf kleine, auf Schienen laufende Wagen W' gebracht und zur Seite abgefahren.

Während dies geschieht, wird der Schneideapparat mit seiner Führung um die Breite des Messers auf dem parallelen Rahmen $R_1 R_2$ seitwärts verschoben. Dieser Rahmen ist so breit, daß vier Schnitte neben einander ausgeführt werden können, wonach die Maschine um die Länge des Messers *ab* vorwärts bewegt werden muß. Zu diesem Zwecke liegen die Balken *B*, welche den dreieckigen Rahmen bilden, auf zwei Rollen *r*, welche in Rinnen des Balkens *A* laufen, während der eine Balken dieses Rahmens auf der ebenen Seite des festliegenden Balkens *H* aufruht. In der Richtung der Breite der Maschine befindet sich ein Hebel *L*, dessen Ende um einen Bolzen auf und nieder bewegt werden kann Mittels dieses Hebels läßt sich der auf *H* ruhende Theil des Rahmens heben, so daß sein ganzes Gewicht auf den Rollen *rr* liegt. Bewegt dann ein zweiter Hebel L_2 von links nach rechts, so wird die Maschine in der Längenrichtung fortgezogen, da dieser Hebel in I seinen Stützpunkt hat.

Fig. 291.



Diese Maschinen haben sich bewährt. Der Preis ist je nach der Größe und dem Tiefgang verschieden, er beträgt bei 2, 3, 4 und 6 m Tiefgang etwa 470, 500, 560 und 600 Mk. Zur Bedienung der Maschine von kleinerem Tiefgange gehören drei, von größerem (5 bis 6 m) vier Mann, welche mit derselben in 12 Arbeitsstunden 10- bis 12000 Torfstücke von 30 cm Länge und 10,5, 12, ja 13 cm im Quadrat stark, kleinere 18000 fördern, einschließlich des reihenweisen Aufsetzens der Torfwürfel auf den Trockenplatz und Schneiden derselben zu Torfstücken.

Auf die Torfstechmaschinen von Challeton (D. R.-P. Nr. 62424) sei verwiesen.

Die Verdichtung des Torfes durch Schlämmen nach Challeton u. A.[1]) hat wenig Beifall gefunden. Wichtiger ist dagegen die Verwendung von Pressen, um dem Torfe größere Festigkeit zu geben.

Auf die alten Handpressen und hydraulischen Pressen (Vogel a. a. O.) sei verwiesen[2]); desgl. auf die Trockenpresse von Exter, welche in Haspelmoor

---

[1]) Bromeis a. a. O. S. 8; Vogel a. a. O. S. 88. — [2]) Torfmaschinen in Dingl. polyt. Journ.: Hebelpresse (1833) 49, 236; (1835) 57, 79. W. d'Eresby's

verwendet wurde (Birnbaum a. a. O., S. 66). Da durch starkes Pressen der nassen Torfmasse schlammige Torftheile verloren gehen, zudem der stark gepreßte Torf auch schlechter brennen soll (nach Vogel a. a. O., S. 75), so wendet man schwächere Pressen an, welche wesentlich den Zweck haben, dem Torf eine bestimmte Form und Festigkeit zu geben.

Von älteren Torfmaschinen ist die für Kugeltorf von Eichhorn beachtenswerth [1]). Der Torf wird so, wie er aus der Grube kommt, in einer Zerkleinerungsmaschine (Quetschwerk) zu einem möglichst gleichartigen Brei verarbeitet und nun in der Maschine weiter geformt. Fig. 292 (a. f. S.) zeigt einen Schnitt durch die Maschine und läßt zugleich die Stirnwand des Cylinders sehen; die Nebenfigur zeigt die Art der Einführung des Torfes in den rotirenden Cylinder. In den Speisetrichter T wird der zu formende Torf durch die Oeffnung a eingetragen. Die archimedische Schnecke b schiebt die Masse allmählich der Austragsöffnung c zu. d zeigt die Torfmenge, welche zu einer Kugel ausreicht. Sie ist durch die Füllmaschine vorgeschoben und wird durch

---

Torfpresse (1838) 67, *34; 70, 153; (1839) 73, *446. Linning's Verfahren (1838) 68, 126. Drevon, Desbordes und Boudon's Verkohlungsapparat (1838) 69, 76; 70, 154. C. W. Williams, Bereitung von Torfkoks (1839) 72, 31; *289; 74, *107. Friedr. Roscher, Ueber Vorrichtungen zum Trocknen (1840) 78, *257. Schafhäutl, Ueber verdichteten Torf und über eine Torfpresse (1843) 88, *14. R. Mallet's Trockenofen (1846) 102, *425. J. Rogers' Bereitung von Torfkohle (1849) 111, 318; (1850) 118, 390. C. Hills' Walzenpresse (1850) 118, *102; (1860) 158, *436. Gwynne's Verfahren (1855) 137, 432; (1859) 154, 343. M. Meißner, Ueber Maschinentorf (1855) 138, 65. Exter's Verfahren (1855) 138, 234; (1857) 145, 466; 148, 148; (1859) 153, 239; 154, *344. Angerstein, Ueber Darstellung von Torfkohle (1856) 139, *299. Challeton's Verfahren (1856) 141, 69; (1857) 146, 265; (1859) 153, 239; (1864) 174, 76. Bauschinger, Ueber Exter's Torfpresse (1857) 145, 466. C. Siemens, Ueber das württembergische Verfahren (1857) 146, 270. Rühlmann, Ueber Verfahrungsarten, den natürlichen Torf zu verdichten (1858) 148, *141; (1859) 154, *343. Turner, Ueber das bayerische Verfahren (1858) 148, 148. Crane's Preßverfahren (1859) 152, 238. Mannhardt's Verfahren (1859) 152, 239; 153, 239. A. Vogel, Ueber Fortschritte der mechanischen Torfbereitung in Bayern (1859) 152, 272. W. Leo, Ueber das Verfahren in Lithauen (1859) 153, 68. Zusammensetzung des verdichteten Torfes (1859) 153, 239. F. H. Schröder bezw. A. Vogel, Zur Torfbereitungsfrage (1860) 156, 128, 302; 157, 39, 224. Torfbereitung in Schweden (1860) 156, 320. W. Leo, Ueber Torfbereitung in Hannover (1860) 158, 436. Schmitz's Reinigungsmaschine (1860) 158, 438. Schlickeysen's Torfpresse (1861) 159, 97; (1862) 163, 92. A. Haidinger's Torfpresse (1862) 164, *345. Welkner's Dörrapparat (1862) 165, *184. Brunton, Ueber irländische Torfbereitung (1863) 167, 468. Schlickeysen's Torfpresse (1863) 168, 156. Versmann-Schlickeysen's Torfpresse (1863) 168, 306; 169, 373; 170, 373. Dullo, Ueber Torffabrikation (1864) 172, *331. Wasserzieher, Ueber die Torffabrik in Langenberg (1864) 174, 64, 112. Brosowsky's Torfstechmaschine (1865) 176. *336. Torfbereitung zu Derrylea in Irland (1866) 181, *195. R. Schmidt, Ueber Schlickeysen's Torfpressen (1867) 183, *177; (1870) 195, 371. W. Schmidt's Torfpressen (1871) 200, *454. Diesbach's Torfausbeutung (1871) 202, *403, A. Busch, Ueber die preußische Torfpreßmaschine (1873) 208, 346.

[1]) Wenz, Lintner und Eichhorn, Der Kugeltorf (Freising 1867); Bayer. Ind. Gew.-Bl. 1875, S. 201; Landw. Jahrb. 1878, 709.

die Messer O, von denen eines fest an der Oeffnung c des Fülltrichters befestigt ist, während das andere mit der Stirnwand des Cylinders P sich dreht, abgeschnitten. Durch die Eingangsmündung x wandert das Torfstück sofort in den 1,8 bis 2 m langen Cylinder. In dem Cylinder sind die Schneckenwindungen w aus Holz oder Metall an der Axe S fest angebracht. Bei der Drehung des Cylinders rollen die Torfstücke durch die Schneckenwindungen und verlassen dieselben zu Kugeln geformt bei m. 19 bis 20 Trommelumdrehungen genügen, um die Kugel, von 10 bis 14 cm Durchmesser, zu formen und dann dem Trockenapparat zu überliefern. Dieser besteht aus gemauerten oder gezimmerten Schächten von 5 bis 6 m Höhe und 3 bis 5 m Durchmesser. In diesem liegen die Torfkugeln auf Lattenrosten, zwischen denen ein warmer Luftstrom aufsteigt. Wenige Tage sollen genügen, um dem Torf die nöthige Trockenheit zu geben. Die Formtrommel verlangt eine Maschinenkraft von $^3/_8$ Pferden, sie macht 60 Umdrehungen die Minute und liefert in 24 Stunden 86 000 Kugeln, welche einem Gewichte von 700 kg trocknen Torfes entsprechen.

Fig. 292.

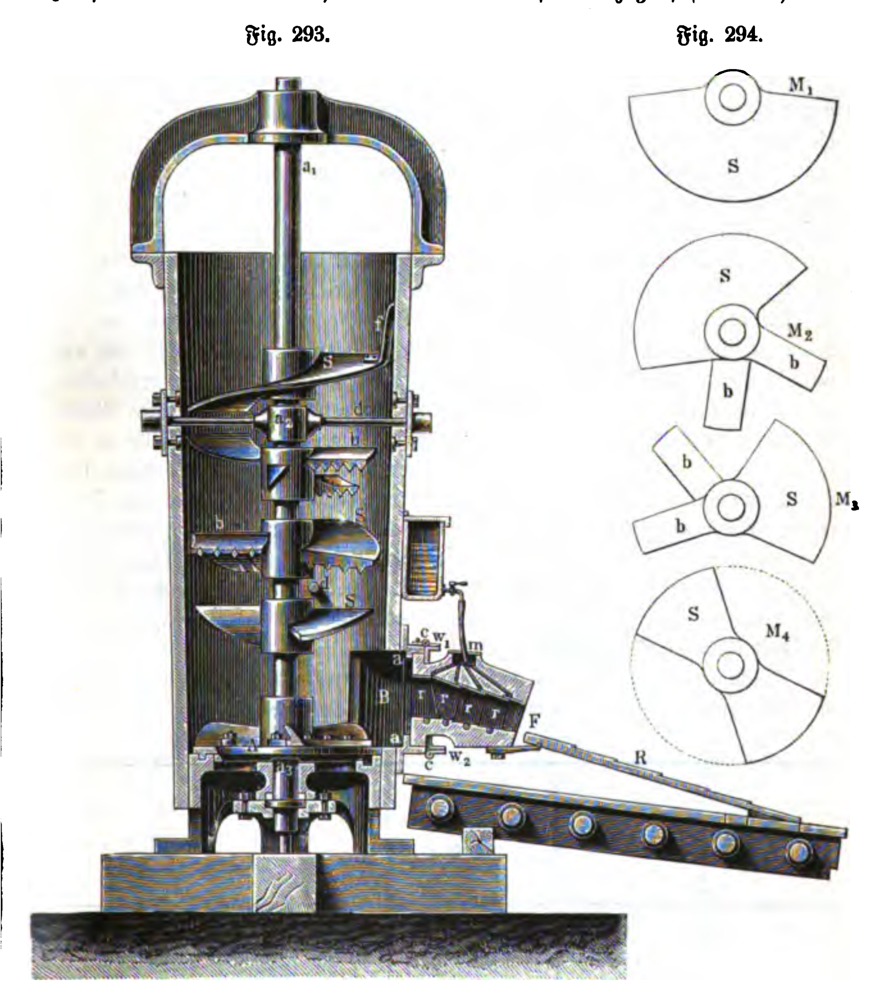


Der Torf soll so dicht und fest sein, daß er weiten Transport erträgt, ohne zu zerbröckeln. In der Feuerung soll er den Luftzug erleichtern und soll sich zugleich so regelmäßig bei dem Verbrennen setzen, daß ein gewaltsames Schüren und Unterstützen der Bewegung nicht nöthig ist.

Hausding berichtet von zwei derartigen Fabriken, nämlich von der in Feilenbach bei Aibling und der in Wörschach bei Steinach im Ennsthale. Erstere wird durch Wasserkraft betrieben, letztere durch eine zehnpferdige Dampfmaschine. Die Trommeln haben nach Hausding eine kegelförmige Form, ihr Durchmesser beträgt bei der Einfallöffnung 75 cm, beim Ausgang 100 cm. Die Kugeln fallen in besondere Wagen, die nach ihrer Füllung von einem Arbeiter vor eine schiefe Ebene geschoben und hier durch einen mechanischen Aufzug nach einer 10 m hohen Plattform gezogen werden, woselbst sich die Trockenhäuser befinden. Die Trockenhäuser sind 120 m lange, 9 m tiefe, 10 m hohe Gebäude, die der Tiefe nach von oben bis etwa 2 m über dem Fußboden mit schrägen unter einem Winkel von 30 bis 45° abfallenden, unter sich

parallelen Lattenhorden ausgerüstet sind. Auf den Lattenhorden rollen die Kugeln nach unten und sammeln sich hier von unten nach oben an. Die Seitenwände sind ganz offen und kann die Luft ungehindert in das Innere zwischen die Torfkugeln, welche zwischen sich selbst naturgemäß Oeffnungen lassen, eintreten und das Trocknen bewirken. Es dauert jedoch das Trocknen in diesen Häusern drei bis vier Wochen. Das Material soll vorzüglich sein, doch be-

Fig. 293. Fig. 294.



laufen sich die Fabrikationskosten von 100 kg bei einer täglichen Leistung von 100000 kg trockenen Torfes pro Tag auf 1,71 Mk., ein Betrag, der wesentlich höher ist als der bei dem gewöhnlichen Maschinentorf. Das Verfahren wird daher zur Zeit kaum noch angewendet.

Nach einem anderen Verfahren wird der Torfbrei durch ein oder mehrere

Paare Preßwalzen hindurchgeleitet; über die Walzen sind endlose Tücher gespannt, durch welche das ausgepreßte Wasser hindurchfiltrirt [1])."

Die erste große Torfmaschinenanlage wurde von Schlickeysen (Berlin) im Jahre 1861 bei Riga aufgestellt, welche sich bewährte [2]). Die neueren Torfmaschinen von Schlickeysen haben theils liegende, theils stehende Mischcylinder (Fig. 293 u. 294 a. v. S.). In einem hohlen, senkrecht stehenden gußeisernen, nach unten hin trichterförmig zulaufenden Cylinder bewegt sich eine eiserne, mit sechs schaufelförmigen Messern versehene, ebenfalls senkrecht stehende Welle $a_1 a_2 a_3$. Der Boden des Cylinders ist an der Welle befestigt und dreht sich mit derselben. Ueber dem Boden A befindet sich seitwärts eine Oeffnung B, die mit einem Mundstück F versehen ist, aus welchem der Torfstrang heraustritt. Dieser sich mit der Welle drehende Boden ist ein Vorzug der Maschine, weil dadurch die Torfmasse vor ihrem Austreten noch einmal gründlich durchmischt wird.

Die mit der Welle sich drehenden Messer S sind, wie in Fig. 294 als $M_1 M_2 M_3 M_4$ besonders dargestellt, Schneckenflügel, die so vertheilt sind, daß sie eine archimedische Schraube bilden. Die Messer sind wagerecht an der Welle befestigt, und zwar so, daß ihre äußere Begrenzungslinie nicht eine ununterbrochen fortlaufende Schraube bildet; ferner sind sie unter sich verschieden, an einzelnen sind außerdem noch Rührarme b angebracht. Das oberste Messer ist mit einem Schaber f versehen, welcher bei der Drehung der Welle an der inneren Wand des Cylinders hinstreicht, den Rohtorf von der Wandung lostrennt und ihn den Messern zuführt. Um zu verhüten, daß sich die rohe Torfmasse zwischen den Messern festsetzt und mit der Welle herumgedreht wird, sind quer durch den Cylinder und zwischen je zwei Messern sogenannte Contremesser d am Bottich angebracht, die fest stehen. Bei Pferdebetrieb dreht sich die Welle anderthalb bis zwei Mal in der Minute, während dieselbe mit Dampfbetrieb 25 Umdrehungen in der Minute macht.

Nachfolgende Angaben von Hausding gewähren einigen Anhalt über die Leistungen und Kosten dieser Maschinen für Dampfbetrieb:

Bottichweite	Gewicht	Erforderliche Dampfkraft	Tagesleistung	
			Soden	cbm
mm	kg	Pferdekraft		
470	750	2 bis 3	10 bis 12000	15 bis 18
500	1250	4 „ 5	15 „ 20000	22,5 „ 30
570	1500	6 „ 8	20 „ 30000	30 „ 45
780	2000	8 „ 10	40 „ 50000	60 „ 75

[1]) Vergl. Schencke a. a. O. S. 58; Vogel a. a. O. S. 82. — [2]) Vergl. Birnbaum a. a. O. S. 73; Hausding a. a. O. S. 48; Polyt. Journ. 237, 116.

Die liegende Torfmaschine von Schlickeysen, Fig. 295 bis 298 (D. R.-P. Nr. 4282, 4283 und 4643) benutzt Preßformen; dieselben sind gleich

Fig. 295.

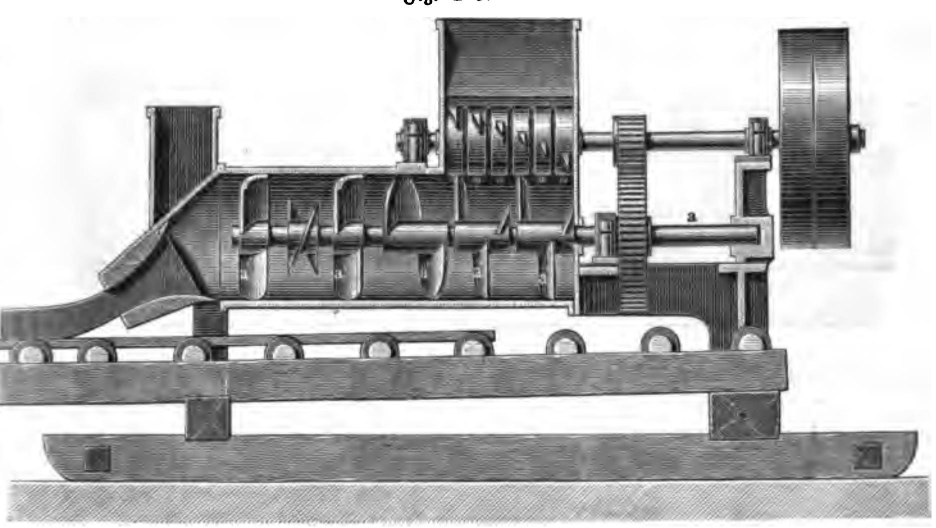


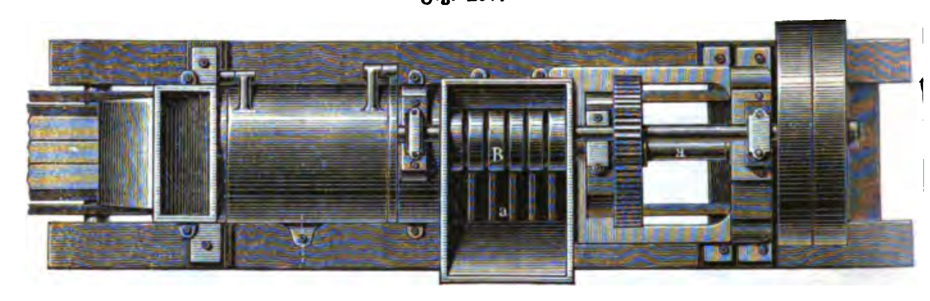
Fig. 296.

Fig. 298.

denen der Ziegelpressen mit schuppenförmigen Metallblechen und Bewässerung eingerichtet, und geben nach Auswahl einen, zwei, auch drei platte saubere Stränge

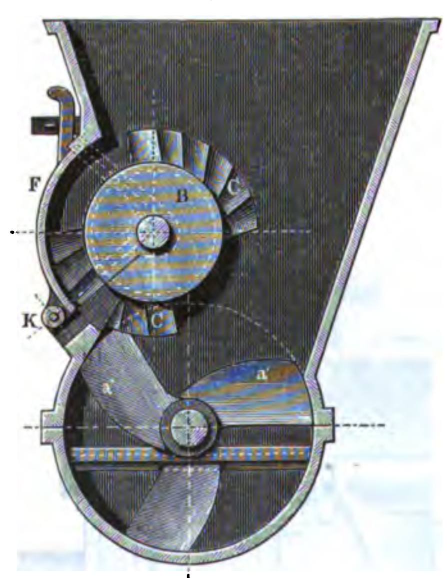
neben einander auf je 1 m lange breite Bretter. Die Zwischenwände der einzelnen Stränge sind zur Vermeidung von Stopfungen vor denselben entweder durch Herausziehen nach oben oder Drehen nach außen jederzeit leicht mittelst einer leichten Handbewegung aus der Ausflußöffnung zu entfernen und dann wieder

Fig. 297.



hinein zu bringen. Die Abschneidetische schneiden stets mit einer Handbewegung sämmtliche (1, 2 oder 3) Torfstränge, welche neben einander auf den je 1 m langen breiten Brettern liegen, auf einmal in 4 Längen, so daß man dann 4, 8 oder 12 Stück auf jedem Brett liegen hat, wodurch das Abheben und Ablegen wesentlich erleichtert wird.

Fig. 299.

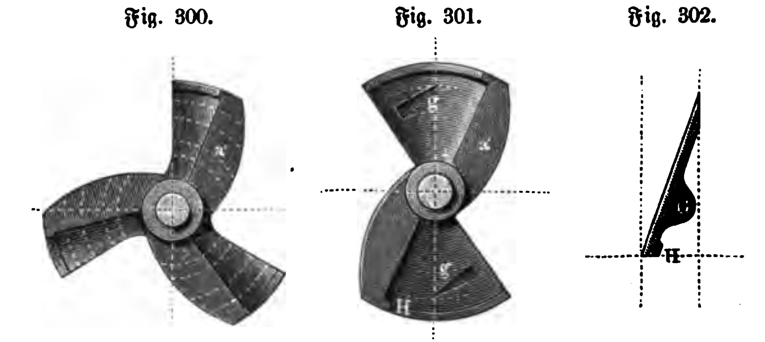


Gegen die Messerwelle *a* mit ihren Messern *a'* dreht sich eine Speisewalze *B*. Aus dieser Walze treten als neu eine Zahl Messer *C* heraus, welche ebenfalls wie die *a'* mittels ihrer Schräge den Torf vorschieben, aber außerdem den Zweck haben, indem je eins derselben zwischen zwei Messerflügel *a'* der Welle *a* durchschlägt, diese stets rein und frei zu halten von Verstopfungen durch Knoten oder Wurzeln. Diese Reinigungsmesser *C* und ihre Walze *B* werden ihrerseits wieder beim Austritt am Umfang der Messer *a'* durch einen Schaber *K*, der im Cylindermantel *E* festsitzt, von allem dazwischen haftenden Material gereinigt; sie sind durch eine Klappe *F* vor äußeren Verletzungen geschützt, und es wird auch durch diese verhütet, daß Menschen sich an den Messern verletzen können.

Im Allgemeinen haben Messer wie die der Messerwelle *a* nur eine in der Richtung der Axe pressende und verschiebende Wirkung, nicht aber eine

mischende und zermalmende, wenigstens nur zufällig. Um diesen letzteren Mangel zu beseitigen, sind den einzelnen Messerflügeln a' der Welle a auf der der Druckseite entgegengesetzten Fläche wieder kleine, annähernd senkrecht darauf stehende, scharfe und flache Secundärmesser g (Fig. 301) angebracht, die so gestellt sind, daß während des Ganges der Maschine stets nur eine Seite eines jeden dieser Messerchen, ähnlich den Hauptmessern, das Material nach seiner Druckseite vorschiebt, während die andere Seite desselben, wie bei jenen, frei geht. Dadurch ist man in der Lage, das in dem Thonschneider in dessen Längsrichtung sich gleichmäßig fortbewegende Material gleichzeitig ganz, je nach Stellung jedes einzelnen Secundärmesserchens und deren Aufeinanderfolge, nach außen oder innen zu verschieben, also wirklich in einander zu schieben, d. h. zu vermischen. Außerdem sind sämmtliche Messer a am Umfang im Winkel herumgebogen, so daß diese herumgebogenen Theile annähernd kleine dem Thon-

Fig. 300. Fig. 301. Fig. 302.



bez. Torfknetermantel concentrisch innere, beliebig breite Cylinderstreifen H (Fig. 302) bilden.

Die Torfmaschine von Lucht (Colberg) ruht sammt dem Elevator auf einem fahrbaren Gestelle mit sechs Rädern (Fig. 303 a. f. S.). Die Elevatoren sind entweder von Holz mit endloser Leinwand oder aus Eisen mit Schaufelkellen gefertigt. Das obere Elevatorende liegt wagerecht, wodurch der andere Schenkel ziemlich senkrecht gestellt werden kann, ohne daß die Schaufeln anstoßen; außerdem kann die Maschine beliebig weit von der Grube aufgestellt werden, indem der wagerechte Schenkel beliebig lang ausgeführt wird. Auf dem Fahrrahmen ist eine Windevorrichtung mit zwei Balanciers angebracht zum leichten Heben und Senken des Elevators. Vor dem Mundstück der Maschine liegt ein etwa 3 m langer Rollentisch zur Aufnahme der Sodenbretter, auf dem die Bretter durch die Soden bewegt werden. Bei Maschinenbetrieb wird eine 6 m lange Rollbahn vor dem Mundstück aufgelegt, welche zur Hälfte von dem Elevator aus durch Rollenbetrieb bewegt wird und die Bretter mit den Soden fortnimmt.

Auf die Torfmaschinen bezw. Torfpressen von R. Dolberg (D. R.-P. Nr. 9412), M. Friedrich (D. R.-P. Nr. 18115), Mecke und Sander (D. R.-P. Nr. 14645) und der Zeitzer Eisengießerei (D. R.-P. Nr. 38404) sei verwiesen.

Das Verfahren der Vorbehandlung von Torf behufs Herstellung von Preßtorf von J. M. A. Gérard (D. R.-P. Nr. 59640) ist dadurch gekennzeichnet, daß der durch Aufschlämmen in Wasser von Sand, Kalk, Thon u. dergl. befreite Torf als Schlamm in dünner Schicht zwischen endlosen Drahtgazebahnen gehalten, zunächst durch Abtropfvorrichtungen, darauf unter weiterer beiderseitiger Bedeckung mit aufsaugenden bezw. durchlässigen Bahnen (Filz) durch Auspreßwalzen, hiernach unter Zurücklassung dieser letzteren Bahnen durch eine hocherhitzte Trockenkammer geführt wird, um neben der Abtreibung des restlichen Wassers zugleich eine theilweise Verkohlung zu bewirken, und daß nach dem Austritt aus letzterer der trockene und zum Theil verkohlte Torf durch eine geeignete Vorrichtung von den aus einander geführten Drahtgazebahnen abgelöst und in eine Knetvorrichtung befördert wird behufs Vermischung mit geeigneten flüssigen Bindemitteln; die Knetvorrichtung gibt dann den Torf als formbare Masse an eine Briquettepresse ab.

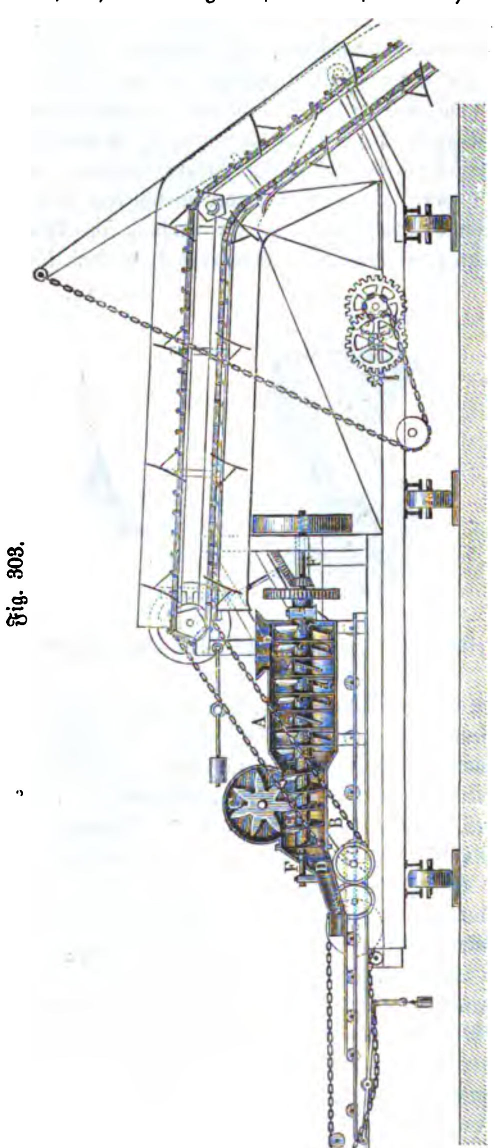


Fig. 303.

Welche Torfmaschine im gegebenen Falle vorzuziehen ist, hängt von örtlichen Verhältnissen, der verfügbaren Kraft, der Beschaffenheit des Moores und dergleichen ab.

Zum Trocknen des Maschinentorfes sind wiederholt Trockenöfen verwendet. Werden die Verbrennungsgase direct verwendet, so müssen sie mit soviel Luft gemischt

werden, daß die Temperatur nicht über 130° beträgt, um eine Entzündung des Torfes zu verhüten. Besser ist die Verwendung heißer Luft. Die älteren derartigen Vorrichtungen [1]) sind meist wieder verlassen, der höheren Kosten wegen. Von neueren ist die Trockenvorrichtung von Stauber [2]) (D. R.-P. Nr. 64692) und von Selwig und Lange (D. R.-P. Nr. 22223) beachtenswerth. Bei letzterer wird der frische Torf auf einem für Luft durchlässigen, sich langsam fortbewegenden Transporteur ausgebreitet, welcher sich in einer geschlossenen, langen Kammer befindet, und der Einwirkung eines ihn durchdringenden Stromes heißer Luft, erforderlichenfalls auch noch der directen Einwirkung von Wärme ausgesetzt wird. Jeder Transporteur besteht aus zwei durch Querbolzen *c* (Fig. 304 und 305) mit einander verbundenen Gliederketten *B*, welche über die Kettenscheiben *A* und *a* laufen. Jedes Glied trägt ein Stück gelochtes Metallblech oder Drahtgewebe *b*, welches 15 bis 25 mm länger ist als die Entfernung der Bolzen der Kette von einander beträgt. Diese Stücke sind um zwei an jedem Kettengliede außen angebrachte Zapfen drehbar. Befinden sie sich oben, so legt sich das vordere Stück mit seinem Ende auf den Anfang des nächstfolgenden, so daß sie auf der oberen Seite von *A*

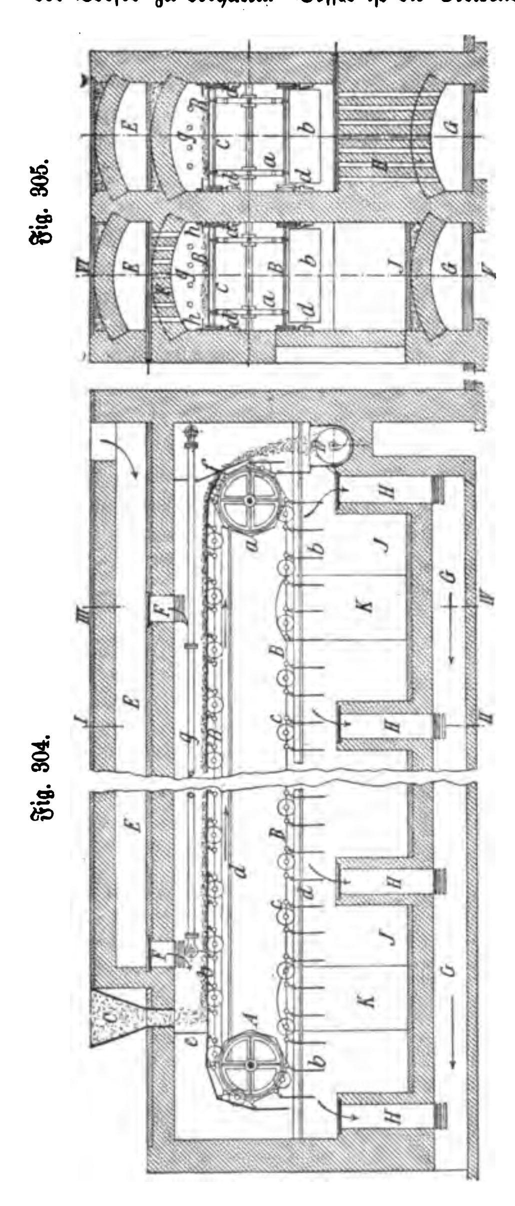

Fig. 305.

Fig. 304.

---

[1]) Vergl. Knapp: Chemische Technologie 1865, S. 179. — [2]) Fischer's Jahresb. 1892, 1120.

bis *a* eine ununterbrochene Fläche bilden. Beim Hinweggehen über die Scheiben *a* schlagen die Stücke *b* nach vorn über und hängen von der unteren Seite der Ketten nach unten herab. Die letzteren werden in der Mitte zwischen den Kettenscheiben durch Laufrollen unterstützt, welche, um die beiden Enden der Verbindungsbolzen *c* drehbar, unten sowohl wie oben auf seitlich angebrachten Schienen *d* laufen. Das Trockenmittel (heiße Luft, Verbrennungsgase, überhitzter Wasserdampf) tritt vom Kanale *E* aus durch Schlitze *F* in den Trockenraum und entweicht mit den Wasserdämpfen durch Schlitze *H* in den Kanal *G*. Außerdem können noch Holzrohre *g* angebracht werden. Der sich beim Trocknen bildende Torfstaub sammelt sich in den Räumen *J* und wird durch Thüren *K* entfernt. Der feuchte Torf fällt aus dem Fülltrichter *C* auf die obere Fläche des Transporteurs. Indem dieselbe langsam von *A* nach *a* fortschreitet, breitet sich der Torf auf ihr in gleichmäßig starker Schicht aus und wird bei Bewegung durch die Kammer unter Einwirkung der ihn durchstreichenden Luft und der an ihn außerdem abgegebenen Wärme getrocknet. Vom Ende des Transporteurs fällt der trockene Torf in eine Transportschnecke *D*, welche ihn aus der Kammer herausschafft. Um zu bewirken, daß der das Trocknen des Torfes bewirkende Luftstrom unbedingt durch die auf dem Transporteur liegende Torfschicht hindurchgeht, ist eine Art Abschluß zwischen derselben und den Seitenwänden der Kammer durch die seitlich an letzteren angebrachten Bleche *h*, welche bis in die Torfschicht hineinreichen, hergestellt. Vorn und hinten sind Scheidewände *e* und *f* aus Blech, letztere unten mit einer Klappe versehen, angebracht.

Mineralkohlen.

Geschichte und Statistik[1]). Die erste geschichtliche Angabe über Verwendung fossiler Kohlen als Brennstoff macht Theophrast (238 v. Ch.):

---

[1]) **Literatur.** Geschichtliches: P. Albinus, Meißnische Bergchronik (Dresden 1590). G. Agricola, Bermannus s. de re metallica (Basel 1530); Ders., De ortu et causis subterraneorum (Basel 1544); Ders., De natura eorum, quae effluunt e terra (Basel 1545); Ders., De natura fossilium (Basel 1546). H. Cramer, Johannes Rhenanus 1879. Göppert, Preisfrage (Harlem 1848). A. v. Gutbier, Geognostische Beschreibung des Zwickauer Schwarzkohlengebirges 1834. E. Herzog, Geschichte des Zwickauer Steinkohlenbaues (Dresden 1852). The History of Fossil Fuel (London 1841). Singularium Andreae Libavii, cont. VIII libros bituminum et affinium historice, physice, chymice; de Petroleis, Ambra, Halosantho, Succino, Gagate, Asphalto, Pissaphalto, Mumia, Lithanthrace .... (Francofurti, P. Kopff, 1601). Medicus, Von dem Bau auf Steinkohlen (Mannheim 1768). Marco Polo, Reise in den Orient 1272 bis 1295, deutsch von Peregrin (Ronneburg 1802). J. Roth, Steinkohlen (Berlin 1866). Schmidt v. Bergenhold, Geschichte des Berg- und Hüttenwesens in Böhmen 1873. Voigt, Versuch einer Geschichte der Steinkohlen, der Braunkohlen und des Torfes (Weimar 1802). v. Voith, Mineralische Holzkohle (Nürnberg 1808). William, Naturgeschichte des Steinkohlengebirges (Leipzig 1798).

„Unter den zerbrechlichsten Steinen gibt es einige, die, wenn man sie ins Feuer bringt, wie angezündete Kohlen werden und lange so verbleiben. Von dieser

Chemie und Geologie der Kohlen: L. Achepohl, Das niederrheinisch-westfälische Steinkohlenbecken (Leipzig 1880, Essen 1883). E. Augener und A. Purgold, Das Braunkohlenbecken von Aussig (Prag-Teplitz 1874). Bergmann, Die mineralischen Brennstoffe Böhmens 1873. Demanet-Leybold, Betrieb der Steinkohlenbergwerke (Braunschweig 1885). C. Eichler, Ermittelung des Heizeffects der Braunkohlen (Berlin 1878). Felber, Bildung der Steinkohle (Herisau 1883). v. Festenberg-Packisch, Steinkohlenbergbau Niederschlesiens (Breslau 1886). Feistmantel, Steinkohlenbecken von Przilep (Prag 1873); Ders., Mittelböhmische Steinkohlenablagerung (Prag 1883). H. Fleck und E. Hartig, Geschichte, Statistik und Technik der Steinkohlen Deutschlands und anderer Länder Europas (München 1865). R. Frantz, Deutschlands Steinkohle (Breslau 1876). C. Fritsche, Die Brennstoffe (Neustadt 1843). H. B. Geinitz: Geologie der Steinkohlen Deutschlands und anderer Länder Europas (München 1865). H. de la Goupillière, Cours d'exploitation des mines (Paris 1885); Ders., Rapport de la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions du grisou (Paris 1880). Göppert, Entstehung der Steinkohlen (Haarlem 1848). Grundmann, Sind englische Steinkohlen besser als schlesische? (Waldenburg 1872). G. Gürich, Geologische Uebersichtskarte von Schlesien (Breslau 1890). Hantken, Kohlenflötze Ungarns (Budapest 1878). v. Hauer, Die fossilen Kohlen Oesterreichs (Wien 1865). v. Hochstetter, Asien, seine Zukunftsbahnen und seine Kohlenschätze (Wien 1876). H. Höfer, Kohlen- und Eisenerzlagerstätten Nordamerikas (Wien 1878). Th. v. Hohendorf, Aussig-Teplitzer Braunkohlenbecken (Teplitz 1867). Hull, Coal Fields of Great Britain (London 1873). Jicinsky, Mährisch-schlesisches Steinkohlenrevier (Wien 1865). W. Jicinsky, Mährisch-schlesisches Steinkohlenrevier (Mährisch-Ostrau 1877). F. Jochams und H. Witmeur, Statistique des industries minières de Belgique 1875. Kosmann und Küntzel, Oberschlesien, sein Land und seine Industrie. Festschrift (Gleiwitz 1888), S. 76. G. Kreischer und Cl. Winkler, Untersuchungen über Sicherheitslampen (Freiberg 1883). Kupelwieser und Schöffel, Die Kohlenreviere von Ostrau u. s. w. (Wien 1870). Ch. Lallemand, Les lignites dans le nord de la Bohême (Paris 1881); auch Annal. des mines 1881. R. Lamprecht, Kohlenaufbereitung (Wien, Manz'sche Buchh.). C. Fr. R. Lange, Der Abbau der Steinkohlenflötze (Saarbrücken 1885). C. Linkenbach, Aufbereitung (Berlin 1887). Lottner, Geognostische Skizze des westfälischen Steinkohlengebirges (Iserlohn 1859). H. Mietsch, Geologie der Kohlenlager (Leipzig 1875). Die Mineralkohlen Oesterreichs. Eine Uebersicht der geologischen, Betriebs- und Absatzverhältnisse. Aus Anlaß der Pariser Weltausstellung zusammengestellt im k. k. Ackerbau-Ministerium (Wien 1878). Monographie des Ostrau-Karwiner Steinkohlen-Revieres. Bearbeitet und herausgegeben vom berg- und hüttenmännischen Vereine in Mähr.-Ostrau (Teschen, Prochaska). R. Nasse, Steinkohlenbergbau von Saarbrücken (Berlin 1886). R. Nasse, Die Kohlenvorräthe der europäischen Staaten, insbesondere Deutschlands und deren Erschöpfung (Berlin 1893). G. Natorp, Der niederrheinisch-westfälische Steinkohlenbergbau (Düsseldorf 1880). C. Naumann, Das Kohlenbassin von Flöha (Leipzig 1864). E. Noeggerath, Untersuchungen über die Heizkraft der Steinkohlen des niederschlesischen Revieres (Waldenburg 1881). B. Noback, Der Braunkohlenreichthum und die Braunkohlen-Bahnen Böhmens (Wien 1886). J. Pechar, Kohle und Eisen in allen Ländern der Erde; Pariser Ausstellung (Berlin 1878). J. Pechar und A. Peez, Mineralische Kohle; Wiener Ausstellung (Wien 1874). Petzholdt, Beitrag zur Kenntniß der Steinkohlenbildung (Leipzig 1882). F. Poech, Das Förder- und Transportwesen des Steinkohlenbergbaues in Deutschland, Belgien und Frankreich (Wien 1883). Pollack, Die böhmischen Braunkohlen (Dresden 1877). J. J. Rein, Japan nach Reisestudien (Leipzig 1886). P. F. Reinsch, Untersuchungen über die

Art sind diejenigen, die man in den Bergwerken der Gegend von Bena findet, und die durch die Fluthen dahin geführt worden; sie fangen Feuer, wenn man glühende Kohlen darauf wirft, und brennen fort, so lange man mit Blasen anhält, darnach erlöschen sie, können sich aber von Neuem entzünden. Auf diese Art dauern sie sehr lange; ihr Geruch aber ist sehr unangenehm. Auf dem Vorgebirge Erineas findet man einen Stein, welcher demjenigen gleich ist, den man in der Gegend von Bena antrifft; wenn man ihn brennt, so duftet er einen Harzgeruch aus und läßt eine Materie, ohngefähr wie erkaltete Erde, zurück. Diejenigen Steine, die man Kohle nennt und für den häuslichen Gebrauch gewinnt, sind erdartig. Sie brennen und entzünden sich wie Holzkohlen. Man findet sie in Ligurien, wo auch der Bernstein gegraben wird, und zu Elis auf den Bergen, über welche man nach Olympia geht. Ihrer bedienen sich die Schmiede."

Diese Angaben beziehen sich offenbar auf Braunkohlen.

Noch älter soll der Kohlenbergbau in England sein; in alten Bauen der Kohlenflötze von Monmouthshire und Leicestershire fand man Feuersteinwerkzeuge, in Derbyshire Werkzeuge aus Eichenholz, aber keinerlei Metalle, so daß diese Baue vor die Eisenzeit zurückzureichen scheinen [1]). Aus Funden von Kohlenschlacken in den Ruinen römischer Ansiedelungen in Durham, Northumberland, Lancashire, Worcester und auf dem Herde eines römischen Bades zu Wroxeter schließt man, daß die Römer bei ihrem Aufenthalt in England bereits Steinkohlen gebrannt haben. Um so auffallender ist es, daß Plinius [2]) Mineralkohle nicht erwähnt, oft aber Holzkohle, Holzschweelerei u. dergl. Auch Vitruv beschreibt die Verwendung von Holzkohlen für Bauzwecke, Estriche u. dergl. [3]). Mineralkohlen werden aber von ihm und anderen römischen und griechischen Schriftstellern nicht erwähnt [4]).

Von Bedeutung ist die Kohle erst in den letzten Jahrhunderten geworden.

Mikrostructur der Steinkohle (Leipzig 1881). Runge und Jüttner, Flötzkarte des Ruhrkohlenbeckens (Dortmund 1888). Schardinger, Braunkohlenrevier von Ellbogen-Carlsbad (Wien 1891. Schütze, Geognostik der niederschlesisch-böhmischen Steinkohlenbecken (Berlin 1882). W. Smyth, Coal and Coal-Mining (London 1869). D. Stur, Carbonflora (Wien 1885). F. Toula, Die Steinkohlen (Wien 1888). Don Ramon Oriol y Vidal, Carbones Minerales de Espana (Madrid 1874). M. Vollert, Der Braunkohlenbergbau im Oberbergamtsbezirk Halle (Halle 1889). Wagner, Bergrevier Aachen (Bonn 1881). E. Weiß, Fossile Flora der Steinkohlenformation (Bonn 1872). C. F. Zincken, Die Braunkohlen (Leipzig 1865); Ders., Physiographie der Braunkohle (Leipzig 1867 u. 1871); Ders., Die geologischen Horizonte der fossilen Kohlen (Leipzig 1883).

[1]) Nach Lyell (Antiquity of man, S. 55) fand man an der schottischen Küste, in der Pfarrei Dundonald, im Thon ein Bruchstück eines Ornamentes aus Cannelkohle in einer so tiefen Schicht, daß Lyell die Zeit seit der Einschwemmung desselben, mit Rücksicht auf die in bedeutend geringerer Tiefe liegenden Spuren römischer Ansiedelungen, auf ungefähr 5000 Jahre schätzt, also in das Zeitalter der Pharaonen versetzt. — [2]) Hist. natur. 33, 94; 36, 95. — [3]) Blümner, Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern (Leipzig 1875 und 1884) 2, 313; 3, 134 und 166. — [4]) Den Etruskern diente die fossile Kohle, wie Otfried Müller berichtet, nur bei der Grundlegung von Gebäuden zur Ausfüllung, aber nicht als Brennstoff. Als solcher kam sie in Toscana in Aufnahme erst im 3. Jahrzehnt des jetzigen Jahrhunderts und wurde zuvörderst zur Unterfeuerung der Borsäurepfannen bei Monte Cerboli benutzt, bis sie durch die Hitze der überflüssigen Boraxdämpfe ersetzt wurde. Für ausgedehntere Zwecke kam der toscanische Kohlenbergbau i. J. 1838 in Aufnahme.

Deutschland.

Den Zwickauer Steinkohlenbau versetzt die Sage ins 10. Jahrhundert, bis in die Zeiten der gewerbfleißigen Sorbenwenden zurück. Auch der Name der noch einige Jahrhunderte älteren Stadt Zwickau, früher Zwickowe, d. h. Aue der Zwicz, eines slavischen Feuergottes, wird damit verknüpft. Den ersten sicheren Nachweis dieses Kohlenbergbaues enthält der noch im Archive vorhandene Pergamentcodex des Zwickauer Stadtrechts vom Jahre 1348: „Daz sullet ir wizzen, daz alle smide, di niderthalb der mur sitzen, mit nichte sullen smiden mit steinkoln.“ Urkundliche Erwähnung findet der Planitzer Kohlenberg zum ersten Male in einem Lehnbriefe von 1499, des Bockwaer Kohlenbaues aber im Stadtbuche des Zwickauer Rathsarchivs von 1493. Die Kohlen bei Oberhohndorf wurden 1530, die Reinsdorfer 1540 entdeckt, der Steinkohlenbau im Plauenschen Grunde begann 1540. Die ältesten gedruckten Nachrichten über den Zwickauer Kohlenbergbau gibt G. Agricola[1]) in seinen S. 457 angegebenen Schriften. Im „Bermannus“ (S. 107) beschreibt er bereits drei Kohlenflötze, bespricht die brennenden Kohlengruben[2]), welche er mit dem Aetna und Vesuv vergleicht. Er wundert sich, daß Plinius nicht die Angaben von Theophrastus (S. 458) erwähnt. Die weitere Entwickelung des sächsischen Kohlenbaues bespricht ausführlich Herzog (s. d.). Entscheidend für dieselbe war die Einführung der Dampfmaschine; die erste wurde 1821 zu Zauckeroda im Plauenschen Grunde, die zweite 1826 auf dem Kohlenwerke zu Oberhohndorf aufgestellt; am 7. September 1845 wurde die Eisenbahn Zwickau-Leipzig eröffnet. An Zwickauer Kohlen wurden gefördert:

1770	36430	Scheffel (zu 90 bis 100 kg)
1790	30815	„ „
1800	62000	„ „
1810	61000	„ „
1820	65000	„ „
1830	165500	„ „
1840	780000	„ „
1850	4200000	„ „

Die Kohlenförderung im Ruhr-Kohlenbecken[3]) ist mindestens 600 Jahre alt. Das tief eingeschnittene Ruhrthal mit seinen steilen, bis 50 m hohen Felswänden, an welchen unzählige Kohlenflötze zu Tage ausstreichen, mußte allerdings früh zur Steinkohlengewinnung anregen. In einem zu Dortmund erhaltenen Kaufbriefe von 1302 werden auch Kohlenkrafften in Aplerbeck genannt. Andere Urkunden von 1317 und 1319 erwähnen ebenfalls die Ver-

---

[1]) Ackermann = Agricola war 1519 bis 1522 Lehrer in Zwickau. — [2]) Das Kohlenflötz zwischen Ober-Planitz und Nieder-Rainsdorf brennt seit undenklichen Zeiten. Ende des 16. Jahrhunderts war es erloschen, wurde aber 1641 durch kaiserliche Soldaten wieder entzündet; vergl. Herzog S. 60 und 81. — [3]) Vergl. W. Runge, Ruhr-Steinkohlenbecken S. 311.

wendung von Steinkohlen. Nach einer Mittheilung der Dortmunder Chronik zogen 1389 während einer Belagerung die Schmiede über die Emscher und holten 100 Malter Steinkohlen. Nach den Aachener Stadtrechnungen wurden dort schon 1333 Steinkohlen allgemein zur Heizung öffentlicher Gebäude verwendet[1]). 1353 schaffte die Stadt Aachen ein geaichtes Normalmaß für Steinkohlen an, welches von Lüttich geliefert wurde[2]). Die Kohlenzeche Hagenbeck bei Essen erhielt bereits am 15. April 1575 eine Bergordnung. Die Zeche Sälzer und Neuach wird schon um 1623, Schölerpad 1678 erwähnt.

Immerhin war die Steinkohlengewinnung im Ruhr-Kohlenbecken bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts ohne sonderliche Bedeutung, da genügend Holz vorhanden war, und der Vertrieb der Kohlen durch Pferdetreiber auf schlechten Landwegen war schwierig. Die i. J. 1772 erfolgte Schiffbarmachung der Ruhr förderte den Absatz nach dem Rheine wesentlich. Aber erst die Entwickelung der Eisenindustrie Westfalens und der Eisenbahnen in den 40er und 50er Jahren erhoben die Ruhr-Kohle zur heutigen Bedeutung. Die von M. Reuß verfaßte Festschrift: „Mittheilungen aus der Geschichte des Königlichen Oberbergamts zu Dortmund und des niederrheinisch-westfälischen Bergbaues“ gibt u. a. die nachstehende Tabelle über Production, Absatz, Werth, Zahl der Zechen und der Belegschaften.

	Production t	Werth derselben Mk.	Absatz t	Werth desselben Mk.	Zahl der Zechen	Belegschaft
1792	176 676	683 667	151 127	583 527	154	1 357
1800	230 558	1 039 015	204 384	921 630	158	1 546
1810	368 679	1 738 432	333 950	1 572 701	177	3 117
1820	425 369	2 279 140	392 157	2 102 047	161	3 556
1830	571 434	3 367 558	549 399	3 145 404	172	4 457
1840	990 352	6 396 330	956 978	6 006 312	221	8 945
1850	1 665 662	10 385 094	1 683 692	9 935 004	198	12 741
1860	4 365 834	28 055 022	4 038 396	25 990 158	281	29 320
1870	11 812 528	67 626 048	10 957 358	62 731 912	220	51 391
1880	22 495 204	102 953 856	21 179 972	96 981 971	202	80 152
1890	37 402 494	312 779 932	35 466 949	296 593 957	175	138 739

In Wettin fand man beim Schürfen auf Kupferschiefer statt dessen i. J. 1466 Steinkohlen, hatte aber keine lohnende Verwendung; erst 1583 begann dort die Förderung. An der Saar begann der Kohlenbergbau i. J. 1529, in Niederschlesien und vielleicht auch in Oberschlesien noch vor dem dreißigjährigen Kriege. 1850 wurde im Saargebiet die erste Eisenbahn

[1]) Zeitschr. f. Bergrecht 1872, S. 481. — Die Kohlenlager an der Inde und Worm bei Aachen sollen schon im 11. Jahrhundert bekannt gewesen sein (Fischer's Jahresber. 1894, 13). — [2]) „Kolkulen“ im Wurm-Revier bei Herzogenrath werden im 12. Jahrhundert erwähnt (Echo der Gegenwart vom 7. Mai 1873).

eröffnet; welchen Einfluß dieselbe auch hier auf den Kohlenabsatz der königlichen Saarbrücker Gruben hatte, zeigt folgende Zusammenstellung[1]):

Im Jahre	Absatz zum directen Verbrauch als Kohle			
	Eisenbahnabsatz t	Wasserabsatz t	Landabsatz t	Für Kokereien t
1850	18 720	128 952	312 106	124 720
1855	575 686	98 334	347 432	438 938
1860	986 614	73 017	312 870	542 009
1865	1 624 112	51 095	411 607	720 171
1870	1 412 856	356 588	356 061	527 790
1875	2 484 556	571 639	402 715	865 463
1880	3 107 694	549 073	413 934	949 804

Die anfangs noch sehr mangelhaften Feuerungseinrichtungen und die geringe Sachkenntniß lassen es erklärlich erscheinen, daß die Steinkohlenfeuerungen stark rauchten. Daß diese Belästigungen arg gewesen sein müssen, geht aus der Verordnung gegen die Zwickauer Schmiede (S. 459) und den englischen Gesetzen (S. 477) hervor. Von vielen Seiten wurde sogar behauptet, der Rauch sei gesundheitsschädlich. So sollte die Pest i. J. 1611 besonders im Feuerviertel (Wohnungen der Schmiede) in Zwickau und im benachbarten Kohlendorfe Bockwa gehaust haben. Auch die Schwindsucht sollte von Steinkohlenrauch kommen. Büntingen (a. a. O. S. 131) bestreitet, daß Steinkohlenrauch in freier Luft schädlich sei und meint, die in England auftretenden Krankheiten seien wesentlich der unzweckmäßigen Lebensweise der Engländer zuzuschreiben, sowie den offenen Kaminen, während die deutschen Oefen die Luft nicht verunreinigen würden. Er empfiehlt die Verwendung von Steinkohle zum Heizen, Kochen, Salzsieden u. dergl., wenn man einen eisernen Rost verwende. Auch C. A. Scheidts[2]) hält bei zweckmäßiger Behandlung der Kohlen den Rauch nicht für schädlich, ja J. G. Grüger[3]) versichert, daß, da das Salz zu Halle noch mit Holz gesotten worden, die wässerigen Dünste der Salzsohle zu öffteren scorbutischen Krankheiten der Salzsieder oder sog. Halloren Gelegenheit gegeben, welche nunmehro, da das meiste Salz bei Steinkohlen (sind doch wohl Braunkohlen! F.) nicht mehr zu spüren wären.

Braunkohlenbergbau scheint jünger zu sein und ist jedenfalls erst in neuerer Zeit von Bedeutung geworden. Die Braunkohlengruben am Meißner wurden 1578 von Rhenanus eröffnet, der die Kohle in Allendorf zum Salzsieden verwandte; da dieses Schwierigkeit machte, ließ er 1588 einen eisernen Rost anfertigen, vielleicht der erste überhaupt. Wenn Bün-

[1]) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 1884, 535. — [2]) Vergl. Medicus, Steinkohlen (1768) S. 167. — [3]) Cramer a. a. O. S. 36.

tingen (a. a. O. S. 85) erwähnt, daß sich am salzigen See und bei Eisleben sehr viel Kohlen finden, so bezieht sich dieses wohl auf Braunkohlen.

Welchen gewaltigen Einfluß die Dampfmaschine auf die Kohlenförderung Deutschlands hatte, wurde bereits erwähnt. Folgende Tabelle zeigt die Entwickelung der Mineralkohlenförderung Deutschlands in den letzten 40 Jahren.

Deutschlands Kohlenproduction.

Im Jahre	Steinkohlen		Braunkohlen	
	Menge t	Werth Mk.	Menge t	Werth Mk.
1848	4 383 565	25 697 334	—	—
1853	8 328 760	51 325 722	—	—
1860	13 672 000	80 730 000	—	—
1862	15 576 278	83 097 894	5 144 060	—
1866	21 629 746	127 320 114	—	—
1868	25 704 758	145 791 087	7 174 000	20 006 000
1870	26 397 770	163 537 080	7 605 000	22 053 000
1871	29 373 272	218 351 295	8 483 000	26 213 000
1872	33 306 418	296 668 500	9 018 000	29 496 000
1873	36 392 280	403 645 296	9 753 000	34 627 000
1874	35 918 614	387 182 871	10 740 000	39 232 000
1875	37 436 368	297 484 634	10 368 000	36 885 000
1876	38 454 428	263 678 277	11 096 000	38 442 000
1877	37 576 071	217 087 721	10 700 000	35 921 000
1878	39 590 000	207 916 000	10 930 000	34 459 000
1879	42 026 000	205 703 000	11 445 000	35 227 000
1880	46 972 262	245 657 178	12 145 000	36 710 000
1881	48 697 784	252 492 324	12 818 210	38 025 984
1882	52 094 895	268 064 974	13 238 030	36 022 372
1883	55 943 004	293 628 448	14 499 644	39 006 988
1884	57 233 875	298 780 192	14 879 945	39 578 315
1885	58 320 398	302 942 159	15 355 117	40 377 832
1886	58 020 612	300 727 000	15 616 984	40 270 000
1887	60 333 984	311 077 000	15 883 634	40 165 000
1888	65 386 120	341 063 330	16 573 963	40 896 384
1889	67 342 171	385 079 880	17 601 466	44 349 314
1890	70 039 046	530 766 000	19 012 481	49 768 838
1891	73 715 618	589 518 000	20 556 625	54 165 828
1892	71 372 193	526 979 176	21 171 857	58 505 898
1893	73 908 999	498 466 000	21 567 218	55 008 000

Demnach zeigte d. J. 1892 einen geringen Rückgang. Vertheilt auf die einzelnen Staaten ergibt sich für Deutschland (einschl. Luxemburg):

(Aus den Vierteljahrsheften zur Statistik des Deutschen Reiches; herausgegeben im Kaiserlich Statistischen Amt in Berlin.)

	Staaten bezw. Landestheile	Werke mit Productionsbetrieb	Gesammte Förderung in absatzfähigen Producten 1892		Abzug von der Gesammtförderung für den eigenen Verbrauch		Durchschnittliche tägliche Belegschaft auf den Werken (Durchschnitt nach den Lohnlisten ermittelt)			
							unter Tage	über Tage		überhaupt
		Anzahl	Menge t	Werth Mk.	Menge t	Werth Mk.	Köpfe	männliche Arbeiter Köpfe	weibliche Arbeiter Köpfe	Köpfe
Steinkohlen	Preußen	343	65 442 558	470 709 823	3 948 225	27 773 943	198 266	54 609	5 323	258 198
	Bayern	22	776 659	7 653 938	63 607	392 276	3 716	849	241	4 806
	Sachsen	36	4 212 875	39 758 682	560 449	1 758 383	15 921	4 866	453	21 240
	Elsaß-Lothringen	2	792 510	7 466 248	23 560	117 952	3 070	998	36	4 104
	Uebrige deutsche Staaten	4	147 591	1 390 475	10 398	94 526	744	323	—	1 067
	zus. Deutsches Reich	407	71 372 193	526 979 176	4 606 239	30 197 080	221 717	61 645	6 053	289 415
Braunkohlen	Preußen	410	17 219 033	47 652 132	3 376 734	9 248 019	13 118	16 553	745	30 416
	Bayern	8	15 130	69 696	1 763	7 045	56	55	4	115
	Sachsen	109	927 860	2 698 729	110 808	276 816	1 115	1 157	158	2 470
	Hessen	10	216 821	798 356	28 106	155 481	340	243	—	583
	Braunschweig	5	593 849	1 940 306	58 909	190 762	444	371	—	815
	Sachsen-Altenburg	42	1 240 812	2 475 379	93 088	169 541	704	741	165	1 610
	Anhalt	11	904 527	2 757 354	59 849	178 809	971	355	—	1 326
	Uebrige deutsche Staaten	4	53 825	113 946	6 860	12 783	70	69	6	145
	zus. Deutsches Reich	599	21 171 857	58 505 898	3 736 117	10 239 256	16 858	19 544	1 078	37 480

Dagegen betrug die Förderung der Jahre 1862, 1872 und 1882 in Tonnen:

	Steinkohle			Braunkohle		
	1862	1872	1882	1862	1872	1882
Preußen (einschließlich Hannover u. s. w.)	13 590 390	29 523 776	47 097 376	3 999 681	7 449 636	10 795 [illegible]
Bayern	307 946	412 412	512 628	50 262	12 067	17 [illegible]
Sachsen	1 902 467	2 946 261	3 784 147	428 615	601 448	615 7[illegible]
Baden	9 376	11 715	8 522	—	—	—
Elsaß-Lothringen	—	290 205	518 525	—	2 233	[illegible]
Großherzogthum Hessen . .	—	—	—	31 968	46 576	25 [illegible]
Braunschweig	—	498	—	119 418	185 295	287 [illegible]
Oldenburg, Mecklenburg, Waldeck, Lippe	—	106 772	105 864	—	4 065	12 [illegible]
Thüringische Staaten . . .	24 288	14 779	762	173 321	249 279	747 [illegible]
Anhalt	—	—	—	340.795	467 454	749 [illegible]

Die Verhältnisse des Steinkohlenbergbaues in Preußen zeigen die Tabellen S. 466 bis 471.

In der folgenden Uebersicht sind diejenigen Steinkohlenbergwerke des Oberbergamtsbezirks Breslau zusammengestellt, deren Förderung im Jahre 1892 100 000 t überstieg.

Name des Bergwerks	Kreis	Förderung t
Königin Luise einschl. Guido	Zabrze	2 516 428
Königsgrube mit Pachtfeld „Zum hohen Kreuz" . . .	Beuthen	1 138 835
Königin Luise-Pachtfeld mit Catharina und Oscar . .	Zabrze	275 092
Cons. Paulus-Hohenzollern	Beuthen	1 101 309
Gräfin Laura	Kattowitz	834 269
Ver. Mathilde mit Pachtfeld cons. Schlesien	Beuthen	695 741
Laurahütte	Kattowitz	612 158
Cons. Florentine mit Carnallsfreude	Beuthen	590 355
Cons. Hohenlohe mit Pachtfeld Ferdinand	Kattowitz	581 190
Cons. Concordia, mit Pachtfeldern Borsig, Johann August, Ludwigsglück und Maria Anna	Zabrze	549 002
Cons. Heinitz	Beuthen	380 809
Hedwigswunsch	Zabrze	348 401
Neue cons. Radzionkau	Tarnowitz	299 052
Comb. Gottessegen mit Pachtfeldern Euphemia und Franziska	Kattowitz	260 023

Name des Bergwerks	Kreis	Förderung t
Cons. Brandenburg mit Pachtfeldern Ruda, Catharina und Oscar	Zabrze	247 782
Max und Jung Anna Südfeld	Kattowitz	246 836
Cons. Wolfgang mit Pachtfeldern Catharina, Maximiliane, Gute Schifffahrt und Bessere Zukunft	Zabrze	226 205
Comb. Hugozwang mit Köpfeloben, Beatensegen I W. u. Alexandrine	Kattowitz	185 205
Ludwigsglück mit Pachtfeldern Borsig und Altenberg II	Zabrze	178 656
Emma mit Pachtfeldern Mariahilf und Weihnachtsabend	Rybnik	160 439
Cons. Georg	Kattowitz	159 768
Lythandra mit Pachtfeld Cicero	Beuthen	100 968
Cons. Giesche	Kattowitz	1 084 243
Ferdinand und Ferdinand Ia	"	476 071
Myslowitz mit Feldsegen	"	435 171
Cleophas mit Beatensegen Ost und Zur Gottes Gnade	"	316 948
Cons. Deutschland	Beuthen	544 893
Cons. Schlesien	"	408 558
Emanuelsegen	Pleß	146 739
Ver. Glückhilf mit Pachtfeldern Friedrich Stolberg und Friedenshoffnung	Waldenburg	786 486
Cons. Fuchs und Pachtfeldern Emilie und Anna	"	550 242
Friedenshoffnung	"	415 362
Cons. Fürstensteiner	"	400 267
Cons. Carl Georg Victor	"	251 277
Cons. Abendröthe	"	129 776
Cons. Melchior	"	129 174
Cons. Gottes Segen	"	106 419
Cons. Gustav	Landeshut	107 378

2. Oberbergamtsbezirk Halle lieferte 1892 in zwei Werken nur 19 660 t gegen 29 233 t in 1882; Wettin ist am 11. Febr. 1893 geschlossen.

3. Im Oberbergamtsbezirk Clausthal lieferten die Staatswerke am Deister 309 702 t (68 632 weniger als 1891), am Osterwald nur 18 983 t, das Schaumburger Werk 250 489 t, das Bantorfer Privatwerk 78 220 t, Ilfeld a. H. lieferte nur 787 t Kohlen.

4. Im Oberbergamtsbezirk Dortmund standen 1892 179 Bergwerke mit insgesammt 213 selbständigen Förderanlagen im Betriebe. Von 175 Werken wurden 36 853 502 t Steinkohlen im Werthe von 271 663 689 Mk. gefördert, d. i. gegen das Vorjahr eine Verminderung um 548 992 t und um 41 116 243 Mk. Vier Werke standen noch in Aus- und Vorrichtung bezw. Aus- oder Umbau. Die Zahl der durchschnittlich beschäftigten Arbeiter betrug 142 247 Mann, das sind 3 508 mehr als i. J. 1891.

Steinkohlenproduction Preußens im Jahre 1892.

1. Oberbergamtsbezirk Breslau	Betriebene Werke	Zahl der Arbeiter überhaupt	Förderung		Absatz		Durchschnittswerth für 1 t	Förderung auf 1 Arbeiter	Dampfmaschinen	
			Menge	Werth	Zum Verkauf einschl. Deputate	Selbstverbrauch für den Bergwerksbetrieb einschließlich Haldenverluste			Zahl	Pferdekräfte
			t	Mk.	t	t	Mk.	t		
A. Oberschlesien.										
Vom Staate betriebene Werke.										
Königsgrube einschl. Zum hohen Kreuz	2	3 774	1 138 835	6 793 925	1 082 473	59 707	5,97	302	34	4 155
Königin Luise-Grube mit Guido	2	9 155	2 516 428	16 135 952	2 380 100	134 013	6,41	275	75	7 912
Vom Staate verpachtete Werke.										
Königin Luise-Grube-Pachtfeld nebst den Pachtfeldern Catharina und Oskar	2	761	275 092	1 366 158	262 169	16 072	4,97	361	14	746
Vom Staate verliehene Werke.										
Bergrevier Beuthen	15	14 256	4 477 419	24 466 914	4 188 017	278 011	5,46	314	214	14 836
" Kattowitz	8	4 958	1 523 524	8 543 755	1 881 055	135 604	5,61	307	64	5 130
" Königshütte	18	4 970	1 555 992	7 561 608	1 457 050	101 690	4,86	313	92	6 467

„ Tarnowitz	3	1 367	340 390	1 664 603	298 711	59 971	4,86	249	33	6 199
„ Nikolai	5	1 257	195 635	935 815	186 510	8 047	4,78	156	13	538
„ Ratibor	13	2 982	584 314	3 147 730	509 608	69 068	5,89	196	62	2 570
Andere Werke.										
Herrschaft Myslowitz-Kattowitz . .	20	8 422	2 648 745	15 699 391	2 339 336	322 361	5,93	315	137	15 465
Standesherrschaft Beuthen . . .	3	2 381	954 843	5 185 890	915 227	42 017	5,43	401	29	1 488
„ Pleß	5	942	226 272	1 171 558	217 984	7 261	5,18	240	19	331
Oberschlesien *) 1892	96	55 225	16 437 489	92 663 199	15 213 235	1 213 822	5,64	298	786	65 837
„ 1891	92	54 752	17 725 793	99 725 979	16 447 426	1 182 095	5,63	324	751	66 860
„ 1882	109	35 416	10 888 172	43 021 642	9 888 222	910 608	3,95	307	558	43 074
B. Niederschlesien.										
Bergrevier Oestlich-Waldenburg .	16	2 597	403 080	2 571 824	367 993	33 978	6,38	155	61	3 377
„ Westlich-Waldenburg .	25	15 276	3 005 712	24 208 779	2 631 478	362 019	8,05	197	281	16 829
„ Görlitz	1	30	2 961	29 653	2 592	369	10,01	99	3	13
Niederschlesien 1892	42	17 903	3 411 753	26 810 256	3 002 063	396 366	7,86	191	345	20 219
„ 1891	42	17 244	3 385 749	28 003 910	3 032 802	366 428	8,27	196	313	18 339
„ 1882	45	12 797	2 902 775	17 963 678	2 692 114	212 496	6,19	227	236	10 170

*) Oberschlesien förderte 1861 . . . . 2 658 333 t Steinkohle,
1865 . . . . 4 256 927 „ „
1870 . . . . 5 854 403 „ „
1875 . . . . 8 228 369 „ „
1880 . . . . 10 110 721 „ „
1885 . . . . 12 842 128 „ „
1893 . . . . 17 095 531 „ „

Zum Absatze, einschließlich zum eigenen Gebrauche, gelangten von den Privatwerken insgesammt 36 728 667 t Steinkohlen, gegen 37 253 827 t im Vorjahre, d. i. eine Abnahme von 525 160 t. 3597 Dampfmaschinen hatten 268 915 Pferdestärken.

Die Förderung der i. J. 1892 im Regierungsbezirk Münster im Betriebe gewesenen 11 Zechen betrug 3 816 551 t, gegen 3 511 810 t in 1891; die Belegschaft bestand aus 15 254 Arbeitern, gegen 13 554 im Vorjahre. Die Förderung vertheilt sich auf die einzelnen Werke wie folgt:

Prosper Schacht II	657 423 t	Ewald	342 987 t
Recklinghausen	544 689 „	Graf Moltke	291 863 „
Hugo	385 620 „	König Ludwig	283 142 „
Graf Bismarck Schacht II	383 458 „	Schlägel u. Eisen	208 783 „
Oberhausen Schacht Osterfeld	379 800 „	General Blumenthal	203 382 „
		Nordstern	135 404 „

Im Regierungsbezirk Arnsberg standen i. J. 1892 117 Steinkohlenbergwerke, außerdem die Betriebsabtheilung Schacht I der Zeche Graf Bismarck (vergl. Regierungsbezirk Münster), mit 89 801 Arbeitern im Betriebe. 114 Werke förderten zusammen 22 610 392 t Steinkohlen zum Werthe von 166 793 750 Mk. Eine Förderung von 100 000 t und mehr hatten folgende Zechen aufzuweisen:

1. Consolidation	1 037 912 t	28. Graf Bismarck Schacht I	290 000 t
2. Ver. Rhein-Elbe u. Alma	937 664 „	29. Ver. Hannibal	280 361 „
3. Hannover	673 950 „	30. Heinrich Gustav	276 637 „
4. Shamrock	639 770 „	31. Zollern	274 707 „
5. Centrum	633 424 „	32. Julia	272 319 „
6. Pluto	615 437 „	33. Hörder Kohlenwerk	272 239 „
7. Ver. Germania	517 709 „	34. Gneisenau	267 489 „
8. Ver. Stein u. Hardenberg	503 324 „	35. Monopol	251 841 „
9. Neu-Iserlohn	488 328 „	36. Ver. Hamburg	240 767 „
10. Unser Fritz	479 036 „	37. Massener Tiefbau	237 423 „
11. Wilhelmine Victoria	451 667 „	38. Ver. Franziska Tiefbau	225 727 „
12. Victor	448 213 „	39. Amalia	223 397 „
13. Erin	440 630 „	40. Courl	223 101 „
14. Holland	395 187 „	41. Glückauf Erbstolln	212 727 „
15. Eintracht Tiefbau	394 240 „	42. Lothringen	212 264 „
16. Königsgrube	393 375 „	43. Ver. Präsident	202 293 „
17. Fröhliche Morgensonne	359 032 „	44. Hansa	198 338 „
18. Hibernia	357 179 „	45. Friederica	193 830 „
19. Königsborn	349 776 „	46. Ver. Maria Anna u. Steinbank	190 333 „
20. Friedrich der Große	348 977 „	47. Prinz-Regent	186 782 „
21. Ver. Constantin der Große	344 504 „	48. Vollmond	181 188 „
22. von der Heydt	341 684 „	49. Mont Cenis	176 548 „
23. Ver. Westfalia	339 277 „	50. Louise u. Erbstolln	173 980 „
24. Mansfeld	317 078 „	51. Graf Schwerin	173 884 „
25. Dannenbaum	309 219 „	52. Julius Philipp	171 448 „
26. Dorstfeld	306 870 „	53. Margaretha	157 894 „
27. Hasenwinkel	292 788 „	54. Prinz von Preußen	157 037 „
		55. Tremonia	156 597 „
		56. Caroline bei Harpen	149 903 „

57. Eiberg	149 747 t
58. Siebenplaneten	142 482 „
59. Ver. Carolinenglück	141 216 „
60. Altendorf	139 579 „
61. Crone	139 076 „
62. Ver. Bommerbänker Tiefbau	138 775 „
63. Borussia	137 553 „
64. Ver. Bickefeld Tiefbau	134 679 „
65. Bruchstraße	134 063 „
66. Ver. Schürbank u.	131 689 „
Charlottenburg	131 689 „
67. Westhausen	124 471 t
68. Braaker Mulde	124 377 „
69. Ver. General u. Erbstolln	121 731 „
70. Herminenglück Libbrius	119 961 „
71. Carl Friedrich Erbstolln und Brockhauser Tiefbau	108 616 „
72. Ringeltaube	104 774 „
73. Ver. Trappe	103 657 „
74. Ver. Wiendahlsbank	101 562 „

Im Regierungsbezirk Düsseldorf standen i. J. 1892 42 Bergwerke und die beiden selbständigen Schachtanlagen Oberhausen I und II und Prosper I in Förderung. Bei einer Belegschaft von 35 595 Mann förderten diese Zechen insgesammt 10 179 495 t Steinkohlen. Eine Production von mehr als 100 000 t hatten folgende Zechen aufzuweisen:

Zollverein	1 039 673 t
Dahlbusch	805 049 „
Concordia	539 097 „
Oberhausen Schacht I und II	521 322 „
Cölner Bergwerksverein	457 073 „
Ver. Helene u. Amalie	438 904 „
König Wilhelm	405 336 „
Königin Elisabeth	399 937 „
Ver. Bonifacius	398 332 „
Neu-Essen	397 833 „
Prosper, Schacht I	335 357 „
Deutscher Kaiser	326 437 „
Mathias Stinnes	263 151 „
Ver. Sälzer u. Neuack	257 206 „
Victoria Mathias	253 808 „
Wolfsbank u. Neu-Wesel	242 137 „
Alstaden	240 421 „
Langenbrahm	222 773 t
Graf Beust u. Ernestine	197 511 „
Friedrich Ernestine	197 199 „
Westende	190 505 „
Ver. Hagenbeck	175 775 „
Carolus Magnus	163 999 „
Johann Deimelsberg	158 703 „
Hercules	156 589 „
Ludwig	156 043 „
Ver. Pörtingssiepen	135 901 „
Ver. Wiesche	119 635 „
Humboldt	110 482 „
Roland	106 249 „
Rheinische Anthracit-Kohlenwerke	103 639 „
Ver. Sellerbeck	103 029 „
Ver. Rosenblumendelle	101 828 „

5. Oberbergamtsbezirk Bonn. Die Gesammt-Steinkohlenförderung des Bezirks betrug 8 160 997 t zum Werthe von 74 553 220 Mk. gegen 8 375 811 t zum Werthe von 80 996 298 Mk. im Vorjahre. Die Förderung ist somit um 214 814 t, im Werthe aber um 6 443 078 Mk. gesunken. — Besonders wichtig sind die Staatswerke bei Saarbrücken:

Name und Nummer (I—IX) der Gruben (Berginspectionen)	Förderung t	Geldwerth der Förderung überhaupt Mk.	durchschnittlich für 1 t Mk.	Pf.	Mittlere Belegschaft unter Tage	über Tage	in Summe	Förderung auf einen Arbeiter t	Dampfmaschinen Zahl	Effective Pferdestärken
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Kronprinz I	415 445	3 589 445	8	64	1 549	387	1 936	215	36	2 335
Gerhard II	686 873	7 775 402	11	32	2 657	765	3 422	201	79	5 735
v. d. Heydt III	636 676	7 200 806	11	31	2 292	673	2 965	215	59	3 450
Dudweiler IV	486 646	4 443 082	9	13	1 987	430	2 417	201	34	3 013
Sulzbach V	595 791	5 487 285	9	21	2 284	284	2 568	232	42	5 307
Reden VI	681 325	6 574 784	9	65	2 949	618	3 567	191	69	3 762
Heinitz VII	1 018 333	10 458 279	10	27	3 298	1 033	4 331	235	49	3 843
König VIII	746 401	7 575 975	10	15	2 583	549	3 132	238	55	2 354
Friedrichsthal IX	510 707	4 621 896	9	05	1 891	433	2 324	220	42	5 055
Göttelborn X	135 379	1 225 180	9	05	652	102	754	180	13	344
Fischbach XI	345 814	3 221 780	9	33	1 311	343	1 654	209	37	5 449
Summe 1892	6 258 890	62 173 864	9	93	23 453	5 617	29 070	215	515	40 647
Dagegen 1891	6 389 960	66 931 852	10	47	23 209	5 374	28 583	224	480	36 338
„ 1883	5 892 821	45 015 883	7	64	19 872	4 206	24 078	245	326	21 577
„ 1882	5 480 181	40 705 824	7	43	19 122	3 739	22 861	240	310	19 738

Kokerei der Grube Heinitz lieferte an Koks
- im Jahre 1892 48 279 t mit 49,96 Proc. Ausbringen,
- „ „ 1891 55 208 „ „ 50,19 „ „
- „ „ 1882 63 995 „ „ 53,58 „ „

Für die Tonne großer und kleiner Koks berechnet sich ein durchschnittlicher Verkaufspreis von 15,11 Mk., gegen 16,46 Mk. in 1891 und 21,26 Mk. in 1890. Auf den Privat-Koksanstalten wurden dargestellt 559 759 t, gegen 520 776 t im Vorjahre.

Das Steinkohlenbergwerk Rheinpreußen, welches seit dem 1. Januar 1892 dem Bergreviere Düren angehört, förderte 363 108 t, gegen 339 062 t, d. i. 24 046 t mehr als im Vorjahre. Die Koksproduction betrug 54 155 t, gegen 57 925 t. — Grube Hostenbach (Reg. Trier) förderte 1892 nur 131 000 t (gegen 159 887 in 1891), Grube Eschweiler-Reserve (Reg. Aachen) förderte 151 843 t.

Uebersicht über den Steinkohlenbergbau im Preußischen Staate im Jahre 1892 nach Steinkohlenbecken[1]).

Kohlenbecken	Betriebene Werke	Anzahl der Arbeiter	Kohlenförderung im Ganzen t	Kohlenförderung durchschnittlich auf eine Grube t	Kohlenförderung durchschnittlich auf einen Arbeiter t	Haldenwerth der Förderung im Ganzen Mk.	Haldenwerth der Förderung durchschnittlich auf 1 t Mk.
Oberschlesien . . .	96	55 225	16 437 489	171 223	298	92 663 199	5,64
Niederschlesien . .	42	17 903	3 411 753	81 232	191	26 810 256	7,86
Wettin u. Löbejün	2	103	19 660	9 830	191	201 184	10,23
Hannover (Wealdenkohle) . . .	9	2 948	455 240	50 582	154	3 765 386	8,27
Grafschaft Hohnstein	2	14	1 309	655	94	8 860	6,77
Schaumburg (1/2)	1	854	125 245	125 245	147	1 228 406	9,81
Minden	2	73	7 220	3 610	99	83 415	11,55
Ibbenbüren . . .	2	1 347	217 204	108 602	161	2 050 902	9,44
Ruhr	174	141 997	36 969 549	212 469	260	271 886 761	7,35
Aachen	11	6 963	1 404 709	127 701	202	8 263 380	5,88
Saar	14	30 771	6 393 180	456 656	208	63 748 084	9,97
Zusammen	355	258 198	65 442 558	184 345	253	470 709 833	7,19
Dagegen 1891	354	252 178	67 528 015	190 757	268	527 225 051	7,81
„ 1889	338	212 382	61 436 991	181 766	289	332 581 059	5,41
„ 1888	352	198 222	59 475 351	168 964	300	291 918 935	4,91
„ 1881	400	162 179	43 780 545	109 451	270	216 973 961	4,96
„ 1880	405	155 006	42 172 944	104 134	272	210 617 066	4,99

[1]) Vergl. Fischer's Jahresber. 1891, 120; 1890, 223.

Braunkohlenförderung des Preußischen Staates während des Jahres 1892 nach Provinzen.

Provinz	Betriebene Werke			Arbeiter	Fördermenge (absatzfähig)			Haldenwerth der Förderung			
	des Staates	der Privaten	zusammen		im Ganzen	auf eine Grube	auf einen Arbeiter	im Ganzen	durchschnittlich auf eine Grube	einen Arbeiter	1 t
					t	t	t	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.
Westpreußen	—	1	1	2	430	430	215	2 452	2 452	1 226	5,70
Brandenburg	—	113	113	7 540	4 598 076	40 691	610	12 918 060	114 319	1 713	2,81
Posen	—	7	7	99	28 149	4 021	284	104 569	14 938	1 056	3,71
Schlesien	—	35	35	1 266	456 843	13 052	361	1 716 754	49 050	1 356	3,76
Sachsen	4	189	193	18 168	10 925 139	56 607	601	30 388 776	157 455	1 672	2,78
Hannover	—	4	4	131	53 844	13 461	233	152 836	38 209	661	2,84
Hessen-Nassau	4	33	37	1 298	293 353	7 928	226	1 193 645	32 2[illegible]1	920	4,07
Rheinprovinz	—	38	38	1 812	863 199	22 716	476	1 775 040	30 922	648	1,36
Summe 1892	8	420	428	30 416	17 219 033	40 231	566	47 652 132	111 337	1 567	2,77
Dagegen 1891	8	427	435	29 046	16 739 984	38 483	576	43 568 357	100 157	1 500	2,60
„ 1889	8	416	424	24 612	14 205 047	33 502	577	35 328 133	83 321	1 435	2,49
„ 1888	8	411	419	23 408	13 207 888	31 522	564	32 159 347	76 753	1 374	2,43
„ 1883	8	430	438	21 197	11 826 630	27 001	558	31 759 552	72 510	1 498	2,69
„ 1882	8	422	430	20 108	10 798 091	25 112	537	29 570 722	68 769	1 470	2,73
„ 1881	8	448	456	19 959	10 412 153	22 834	522	31 268 991	68 572	1 567	3,00
„ 1880	8	461	469	19 757	9 874 888	21 055	500	30 165 766	64 319	1 520	3,06

Die wichtigsten Werke sind zur Zeit:

Name der Grube	Lage	Höhe der Förderung 1892
		t
Concordia	Nachterstedt	565 159
Johanne Henriette	Unseburg	401 359
Ottilie Kupferhammer	Oberröblingen	397 940
Anna	Zschipkau	328 743
Ilse	Bückgen	318 344
Marie	Reppist	309 000
Luise	Bitterfeld	277 491
Deutsche Grube	Zschernndorf	262 087
Auguste	Bitterfeld	256 989
Wilhelminensglück	Clettwitz	243 430
Haul	Luckenau	241 388
Emilie und Werner	Harbke	234 038
Heye I	Särchen	225 155
Henkels Werke	Senftenberg	222 031
Marie	Kl. Räschen	217 815
Walthers Hoffnung	Stedten	204 831
Marie Louise	Reindorf	205 478
Victoria	Hötensleben	203 159
Alfred	Tornitz	192 085
Hermine	Greppin	184 310
Caroline	Offleben	173 191
Emma	Streckau	167 195
Altzscherben	Zscherben	165 026
Nr. 278	Prehlitz	163 945
Naumburg	Deuben	160 302
N. Nr. 6	Greppin	158 181
Hedwig	Wildschütz	152 885
Neue Sorge	Näthern	150 051
Meuro-Stolln	Senftenberg	143 144
Henriette	Sallgast	140 211
Georg	Aschersleben	140 183
Staatswerk	Eggersdorf	139 865
„	Löderburg	137 894
Jacobsgrube	Börnecke	137 827
Vereinsglück	Prehlitz	137 570
Nr. 315/21	Webau	136 238
Präsident	Schönfließ	135 053
Sophie	Wolmirsleben	127 639
Reschke'sche Werke	Reppist	126 482

Die Einfuhr und Ausfuhr Deutschlands betrug:

	Steinkohlen		Braunkohlen	
Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Einfuhr	Ausfuhr
1850	502 008	1 493 276	—	—
1860	782 030	1 943 778	—	—
1870	1 681 573	4 007 400	—	—
1880	2 058 767	7 236 466	3 081 466	19 200
1885	2 375 905	8 955 518	—	—

Dagegen betrug:

	Einfuhr		Ausfuhr	
	1892	1893	1892	1893
Braunkohlen .	6 701 309	6 705 672	18 582	22 756
Koks	465 726	439 182	1 717 893	1 902 424
Steinkohlen . .	4 436 983	4 664 047	8 971 055	9 677 304
Preß- und Torfkohlen . . .	75 788	102 992	120 560	171 356

Der Verkauf von Kohlen im Inlande betrug darnach:

1891	69 212 000 t
1892	66 587 000 „
1893	67 925 000 „

Auf den Kopf der Bevölkerung kommen somit etwa:

1891	1 385 k
1892	1 359 „
1893	1 386 „

Oesterreich.

Der Steinkohlenbergbau Böhmens ist in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts, der auf Braunkohlen in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts begonnen[1]). Nach Pechar (a. a. O.) wurde aber in Böhmen 1550 der erste Braunkohlenbergbau und 1580 der erste Steinkohlenbergbau ins Leben gerufen. Erst im 17. und 18. Jahrhundert sind in anderen Ländern der Monarchie (Steiermark, Niederösterreich und Mähren) weitere Kohlenbergbaue eröffnet worden. Durch Jahrhunderte dienten indessen die Mineralkohlen nur einem ganz unbedeutenden Localbedarfe, da die Verkehrsmittel für eine weitere Verführung derselben fehlten und der Reichthum der vorhandenen Wälder für die Zwecke des Hausbedarfes und der noch im Anfang der Entwickelung begriffenen Industrie ausreichenden Brennstoff darbot. Dem entsprechend lieferte Oesterreich im Jahre:

1819	94 607 t	Mineralkohle
1830	211 298 „	„
1840	469 212 „	„
1845	721 707 „	„
1850	944 323 „	„

[1]) Mineralkohlen Oesterreichs 1878, S. 161.

Sodann, getrennt in Steinkohlen und Braunkohlen:

	Steinkohlen t	Braunkohlen t
1850	584 068	360 255
1855	1 180 449	920 601
1860	1 948 189	1 548 306
1865	2 836 884	2 232 419
1870	4 295 775	4 060 169
1875	5 185 234	7 666 812
1880	6 644 728	9 434 040
1885	7 378 665	10 514 155
1890	8 931 065	15 329 057
1891	9 192 885	—
1892	9 241 126	16 190 275

An der Steinkohlenproduction waren betheiligt mit Tonnen:

	1882	1886	1892
Böhmen	3 305 271	3 316 610	3 688 714
Niederösterreich	44 738	54 364	46 387
Mähren	908 693	1 011 227	1 179 790
Schlesien	1 958 342	2 529 118	3 693 542
Steiermark	153	362	214
Galizien	341 805	509 567	632 479
Krain	—	30	—

Braunkohlen:

	1882	1886	1892
Böhmen	6 496 560	8 351 530	13 153 998
Steiermark	1 757 403	1 864 295	2 171 186
Oberösterreich	264 673	267 973	363 135
Krain	130 400	120 937	136 174
Mähren	108 694	105 335	111 022
Kärnten	90 138	76 795	68 474
Istrien	66 554	67 623	86 888
Dalmatien	22 086	29 612	53 288
Tirol	23 750	21 629	24 686
Vorarlberg	7 800	13 990	—
Niederösterreich	19 489	8 343	1 615
Galizien	8 136	2 698	19 261
Schlesien	598	595	548

Ungarn lieferte:

	Braunkohle t	Steinkohle t
1862	264 933	324 300
1872	855 793	617 186
1891	2 427 126	1 019 352
1892	2 741 391	1 052 214

Großbritannien.

Die erste geschichtliche Erwähnung der Steinkohle ist wohl die Angabe in der Chronik der Abtei von Peterborough aus dem Jahre 852, daß ein

Lehnsmann dieses Klosters u. a. auch 12 Ladungen Kohlen liefern müsse. Im 12. Jahrhundert bildete die Kohle in England bereits einen Handelsartikel. Wie der Handelswerth der Kohle gestiegen sein mag, läßt sich nach einer Urkunde Heinrich's III. vom Jahre 1239 vermuthen, in welcher derselbe den Bürgern von Newcastle den Kohlenbergbau, gegen die für damalige Zeit außerordentlich hohe Abgabe von 100 Pfund jährlich überträgt. Um jene Zeit erfolgte in England bereits der Aufschluß in den verschiedenen Kohlenbecken, und gegen Ende des 13. Jahrhunderts scheint auch in Schottland die Kohle in ausgedehnterer Weise gewonnen worden zu sein. Trotz verschiedener widriger Verhältnisse wurden die Kohlen auch für den Hausbedarf verwendet und zu Anfang des 14. Jahrhunderts war die Benutzung derselben in London bereits eine so allgemeine, daß ernstliche Bedenken wegen der dadurch herbeigeführten Luftverpestung auch dort entstanden. Schon 1273 beschwerte sich der Adel Londons bei Eduard I. über den überhand nehmenden Rauch der „sea coals“, und i. J. 1306 bat das Parlament den König Eduard I. um Erlaß eines Verbotes, bezüglich der Benutzung „der Seekohle“, wie man damals vorwiegend die Steinkohle von Newcastle bezeichnete. Dieses Verbot erfolgte, nach welchem in London und seinen Vorstädten die Bewohner unter Androhung harter Strafen angewiesen wurden, wieder Holz zu feuern. Allein kaum 20 Jahre später landeten nicht bloß zahlreiche Kohlenschiffe wieder an den Ufern der Themse, sondern selbst im königlichen Palaste wurde die Seekohle von Newcastle gebrannt. Eduard III. beförderte den Kohlenbergbau, Richard II. legte den ersten Zoll auf die von Newcastle nach London kommenden Kohlenschiffe und Heinrich V. stellte 1421 bereits besondere Commissäre zur Beaufsichtigung der Kohleneinfuhr an. Ein späteres Verbot des Kohlenbrennens von der Königin Elisabeth († 1603) und die Beschwerde der City von London 1649 gegen diese „nuisance and offensive commodity“ konnten die weitere Entwickelung der Kohlenindustrie Englands nicht aufhalten. Nach Büntingen (a. a. O., S. 84) wurden englische Kohlen bereits im 17. Jahrhundert nach Hamburg, Holland und Dänemark gebracht (vgl. S. 458).

Die Kohlenproduction Großbritanniens betrug (1 ton = 1016 k):

Im Jahre	in 1000 tons	sodann:	tons
1800	10 100	1881	154 184 300
1840	34 572	1882	156 499 977
1850	45 328	1883	163 737 327
1855	65 298	1884	160 757 779
1860	85 387	1885	159 351 415
1865	99 662	1886	157 518 452
1870	110 785	1887	162 119 812
1875	133 977	1888	169 936 219
1880	146 969	1889	176 916 724
		1890	181 614 288 oder
		1890	184 520 116 t
		1891	188 446 792

Die Kohlenproduction Großbritanniens betrug (in 1000 tons) nach Bezirken:

	1890	1889
Südwales und Monmouth	29 415	28 064
Schottland	24 249	23 217
Süd-Durham	22 198	21 979
Lancashire	22 124	21 708
Yorkshire	22 339	21 976
Staffordshire	13 774	13 937
Derbyshire	10 456	10 093
Nord-Durham	8 067	8 328
Northumberland	9 446	8 794
Notts	6 862	6 583
Nord-Wales	2 976	2 896
Cumberland	1 740	1 740
Warwickshire	1 744	1 701
Gloucestershire	1 420	1 360
Leicestershire	1 456	1 337
Sommersetshire	922	876
Worcestershire	923	894
Shropshire	693	710
Cheshire	678	620
Irland	102	103
	181 614	176 916

Der Werth der Steinkohle an der Grube wird auf 75 Millionen Pfund Sterling oder etwa 1500 Millionen Mark angegeben.

Braunkohlen wurden 1890 nur 2630 t gewonnen.

Die Kohlenausfuhr betrug i. J. 1851 erst 3 500 000 t, i. J. 1891 aber 31 500 000 t.

Belgien[1]).

Die Steinkohlen im Bisthum Lüttich sollen 1198, nach der Chronik Lamberts des Kleinen i. J. 1213 entdeckt worden sein. Das Steinkohlengebiet, welches

---

[1]) Die Gewinne des belgischen Steinkohlenbaues scheinen sehr mäßig zu sein (Fischer's Jahresb. 1889, S. 170).

Von dem producirten Werth entfielen in den letzten Jahren:

	1892	1891
Auf die Arbeiter	54,4 Proc.	52,2 Proc.
„ allgemeine Betriebsunkosten	37,8 „	33,3 „
„ Betriebsgewinn	5,8 „	14,5 „

Es zeigen diese Jahre mithin eine Steigerung des Arbeiterantheils und der allgemeinen Betriebsunkosten und als Folge davon eine andauernd recht erhebliche Minderung des Betriebsgewinnes an dem producirten Werth.

Von den 1892 im Ganzen im Betrieb befindlichen Kohlenbergwerken (271 gegen 272 i. J. 1891) arbeiteten mit Gewinn nur 82, welche einen Ueberschuß von

etwa $^1/_{22}$ des Flächeninhaltes des ganzen Landes umfaßt, bildet durch die Abflachung einer kohlenhaltigen Kalkformation eine tiefe Mulde, und streicht von Südwest nach Nordost über Quiévrain, Mons, Charleroi, Namur und Lüttich. Am Samsonbache, unweit von Namur, in der Mitte der Mulde, tritt die Kohle an die Oberfläche; von hier neigt sich der Boden einerseits im Westen gegen Mons, um das Becken vom Hennegau, andererseits gegen Osten, um das Becken von Lüttich zu bilden. Die Folge dieser Lagerung ist, daß sich das Kohlenbecken von Namur aus nach Ost und West immer mehr vertieft.

Die drei Kohlenbecken im Hennegau: Mons, Charleroi und Centra, sowie das von Lüttich liefern etwa gleiche Kohlenmengen, das von Namur ist viel unbedeutender.

Die Kohlenproduction betrug:

Jahr	Belgien t	Davon Hennegau t
1830	2 347 000	1 913 677
1840	3 929 962	2 951 781
1845	4 919 156	3 670 486
1850	5 820 884	4 420 761
1855	8 409 330	6 458 416
1860	9 609 895	7 506 720
1865	11 840 703	9 206 058
1870	13 697 118	10 196 530
1875	15 011 331	10 968 175
1880	16 886 698	—
1885	17 437 603	—
1890	20 365 960	—
1891	19 675 644	14 250 300
1892	19 538 117	—

Der Werth der Kohlenproduction betrug in 1892 rund 201 288 000 Frcs. An Arbeitslohn wurden an 88 806 Arbeiter unter Tage und 29 772 zu Tage 113 509 000 Frcs. gezahlt.

Die mittlere Stärke der abgebauten Flötze betrug 1892 0,63 m (1891 0,64 m), die mittlere Abbautiefe 410 m (1891 400 m), die größte durchschnittliche Abbautiefe (im Becken von Mons) betrug 545 m.

Die Einfuhr betrug 1892 1 750 000 t, die Ausfuhr 6 200 000 t Kohle und Koks.

Frankreich.

Steinkohlen wurden schon vor 1321 zu Rochela-Molière im Loirethal gewonnen. Im 16. Jahrhundert fand Kohlenförderung zu Brassac und Grand-'Combe statt, am Ende des 17. Jahrhunderts zu Decize und es wurden französische Kohlen in Concurrenz mit englischen nach Paris geschafft. Während des 18. Jahrhunderts nahm die Wichtigkeit der Kohlenindustrie sehr zu; 1720

16 273 000 Frcs. brachten, mit Verlust 42, deren Fehlbetrag 4 511 000 Frcs. betrug. Im Jahre 1891 ergaben dagegen 105 Bergwerke einen Gewinn von 38 034 000 Frcs. und nur 28 einen Verlust in Höhe von 2 173 000 Frcs.

entdeckte Graf Désandroins Kohlen zu Fresnes und 1734 zu Anzin. Die erste Dampfmaschine wurde 1732 nach Frankreich gebracht und zum Auspumpen des Wassers in den Gruben von Anzin benutzt. 1789 lieferten die Gruben von 16 Provinzen 240 000 t Steinkohlen. Die Steinkohlenförderung betrug dann:

	t		t
1802	844 180	1860	8 309 622
1811	773 694	1865	11 600 000
1820	1 093 658	1870	13 330 308
1830	1 862 665	1875	16 957 000
1840	3 003 382	1880	19 362 000
1850	4 433 567	1885	19 511 000
1855	7 453 000	1890	25 591 545 [1])

Ferner in den Jahren 1891 und 1892:

Steinkohlenbecken.	Anzahl der Concessionen im Betriebe 1891	Production 1891 t	Production 1892 t
Valenciennes, le Boulonnais	33	13 486 000	14 699 858
Saint-Etienne und Rive-de-Gier, Sainte-Foy l'Argentière, Communay, le Roannais . . .	44	3 823 000	3 557 927
Alais, Aubenas, le Vigan	21	2 192 000	2 082 254
Le Creusot und Blanzy, Decize, Epinac und Aubigny-la-Ronce, Bert, la Chapelle-sous-Dun, Sincey	15	1 977 000	1 937 895
Aubin, Carmaux, Rodez, Saint-Perdoux . . .	21	1 552 000	1 311 602
Commentry und Doyet, Saint-Eloy, l'Aumance	13	1 119 000	1 162 829
Brassac, Champagnac und Bourg-Lastic, Langeac	12	339 000	334 234
Graissessac	6	249 000	208 835
Ahun, Bourganeuf, Cublac, Meymac u. Argentat	7	205 000	214 388
Le Drac, Maurienne-Tarentaise und Briançon, Oisans, Chablais und Faucigny	58	202 000	192 378
Ronchamp	2	190 000	208 088
Le Maine, Basse-Loire, Vouvant u. Chantonnay	12	168 000	153 785
Summe (Steinkohlen)	244	25 502 000	26 064 073
Braunkohlenbecken.			
Fuveau, Manosque, La Cadière	21	474 000	437 568
Bagnols, Orange, Banc-Rouge, Vayac u. Célas, Méthamis	12	28 000	28 294
Gouhenans, Norroy	3	13 000	10 494
Millau und Trévezel, Estavar, la Caunette, Simeyrols, Murat	12	7 000	6 845
La Tour-du-Pin, Hauterives, Douvres	4	1 000	1 586
Summe (Braunkohlen)	52	523 000	484 787

Die Braunkohlengewinnung betrug 1862 etwa 250 000 t, 1882 aber 557 000 t; die Förderung hat daher neuerdings abgenommen.

---

[1]) Dazu 158 000 Torf (Fischer's Jahresb. 1889, 171; 1893, 181).

Spanien.

Der Steinkohlenbergbau Spaniens begann Mitte des 18. Jahrhunderts, indem i. J. 1742 die erste Concession zu einem Kohlenschachte in Villanueva del Rio bei Sevilla ertheilt wurde. Obgleich reichlich Steinkohle vorhanden, entwickelt sich der Kohlenbergbau nur langsam. Braunkohle ist zwar reichlich vorhanden, die Förderung ist aber gering; nur in Barcelona ist sie irgend nennenswerth. Die Förderung betrug:

Jahr	Steinkohle t	Braunkohle t
1830	10 524	—
1840	19 248	—
1845	36 201	500
1850	62 923	10 000
1855	91 314	18 000
1860	320 899	18 952
1865	461 396	34 359
1870	621 832	40 095
1875	628 810	25 689
1880	847 167	38 472[1])
1890	1 179 779	30 303
1891	1 2[illegible]6 000	28 147
1892	1 424 185	37 011
1893	1 531 810	34 100

Die Steinkohlenproduction in den einzelnen Provinzen betrug:

	1892 t	1893 t
Oviedo (Asturien)	781 620	810 000
Cordoba	250 000	310 000
Palencia	148 204	149 850
Sevilla	106 218	103 660
Ciudad Real	79 000	88 000
Gerona	34 143	40 300
León	25 000	30 000
	1 424 185	1 531 810

Portugal förderte 1889 an 20 539 t Kohlen, im Anthracitbecken des Douro und dem Steinkohlenbecken am Cap Mondego.

Rußland.

Im Kaukasus, Ural, Altai, sowie der jetzigen Kirgisensteppe ist der Bergbau schon uralt, wie die verlassenen Gruben bewiesen, als die Russen diese Gebiete einnahmen. Diese selbst trieben bis in das 15. Jahrhundert hinein

---

1) Nach anderen Angaben 825 790 t Steinkohlen, 21 338 t Braunkohlen und 200 t Torf (Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenind. 1882, 117).

keinen Bergbau, und es dauerte drei Jahrhunderte, bis mit dem Berggesetz Peters des Großen (1719) der Grubenbetrieb zu geregelter Entwickelung kam. Die Production betrug nach Pechar:

	Steinkohle t	Braunkohle t
1840	15 000	—
1850	52 000	—
1860	131 200	—
1867	433 709	3 607
1870	683 260	9 028
1875	1 675 400	33 869

Nach anderen Angaben:

1863	282 244	25 000
1882	3 773 665	27 619

Zuverlässige Angaben[1]) liegen für 1888 vor; darnach betrug die Production:

Steinkohle	282 533 662	Pud	=	4 628 252	t
Anthracit	31 529 441	„	=	516 491	„
Braunkohle	2 530 811	„	=	41 458	„
	316 593 914	Pud	=	5 186 201	t

Davon kommen in runden Zahlen:

	Steinkohle Mill. Pud		1000 t
auf das Königreich Polen	146	=	2392
„ „ Donetz-Gebiet	105,25	=	1724,1
„ „ Moskauer Gebiet	16,9	=	276,8
„ den Ural	12,75	=	208,9
„ das Gebiet von Kusnetzk (Gouvernement Tomsk)	1	=	16,5
„ das Gestade des Stillen Oceans	0,6	=	9,8

In geringerer Menge wurde Steinkohle im Kaukasus und der Kirgisensteppe gefördert. Braunkohle fand sich im Königreich Polen ($1^1/_2$ Mill. Pud = 24 570 t), in Turkestan, dem Kaukasus, dem Bezirk von Kieff-Jelisawetgrad und in der Kirgisensteppe. Der Anthracit stammt aus dem Donetz-Gebiet. An der Kohlengewinnung nehmen 16 Gouvernements und Gebiete Theil; die wichtigsten sind:

Petrikau	147 338 835	Pud	=	2 413 593	t
Jekaterinoslaw	85 607 371	„	=	1 402 355	„
Don-Gebiet	51 152 348	„	=	838 939	„
Perm	12 757 123	„	=	208 977	„
Rjasan	9 222 496	„	=	151 076	„
Tula	7 642 535	„	=	125 194	„
Tomsk	1 010 387	„	=	16 551	„

1) Rigaische Industr.-Ztg. 1891, 97; vergl. Fischer's Jahresb. 1892, 180.

Die Steinkohleneinfuhr betrug 1888:

	Mill. Pud			Mill. Pud		
in die Ostseehäfen . . .	69,5	= 1 138 496 t	(—	1	= —	16 380 t)
„ „ Schwarzmeerhäfen	15	= 244 719 „	(+	11,5	= +	188 384 „)
über die Landgrenze . .	11,09	= 181 668 „	(—	1	= —	16 380 „)
	95,59	= 1 565 883 t	(+	9,5	= +	155 624 t)

Die Zahl der Bergwerke betrug 330, der Schachte und Stollen 1062, der Arbeiter 37 957, der Dampfmaschinen 384 mit 14 656 Pferdekräften.

Auf den 336 Kohlengruben, die i. J. 1890 im Betriebe standen, wurden gewonnen:

Steinkohle	321 849 785	Pud
Anthracit	36 483 528	„
Braunkohle u. s. w.	8 870 732	„
zusammen:	367 204 045	Pud

Nach den neuesten Angaben des russischen Bergdepartements sind i. J. 1892 in Rußland 422 010 500 Pud (= 6 963 165 t) Mineralkohle gewonnen worden. Von dieser Gesammtmenge entfielen auf Anthracit 38 604 469 Pud, Steinkohlen 377 993 409 Pud und Braunkohlen, bituminöse u. dergl. Kohlen 5 412 622 Pud. Auf die einzelnen Bassins vertheilt sich die Production 1892 wie folgt:

Donetz	217 532 677	Pud
Dombrowa	175 993 231	„
Ural	14 275 797	„
Moskowisches	10 971 815	„
Kusnezk (Gouvernement Tomsk) . .	1 193 077	„
Kaukasisches	1 036 793	„
Küstengebiet	776 460	„
Kiew-Jelissawetgrad	124 000	„
Kirgisensteppe	106 450	„
Olonez	200	„

Holland hat bis jetzt nur die „Domanialgrube" und „Prick", welche beide in der Gemeinde Kirchrath, 8 km von Haarlem entfernt liegen. Augenblicklich wird ein drittes Steinkohlenbecken erschlossen, welches die Fortsetzung der Wormmulde in das Limburg'sche Gebiet hinein ist. Die Kohlenförderung ist unbedeutend (vgl. S. 460).

Dänemark ist ebenfalls arm an Kohle. Steinkohle kommt nur auf der Insel Bornholm vor, wo von einer Actiengesellschaft auf zwei Gruben eine minderwerthige Kohle gefördert wird. Die Ausbeute betrug früher 6000 bis 7500 t, wovon 3000 t dem eigenen Bedarfe dienten, in letzterer Zeit ist dieselbe aber noch gesunken. Braunkohle findet sich in Jütland sowohl wie auf den Inseln; die Production ist indessen sehr unbedeutend und bestreitet nur den Bedarf der nächsten Umgebung.

Schweden hat nur wenig und meist minderwerthige Kohle, da der Aschengehalt 3 bis 43 Proc. beträgt. In Ablagerungen des nordwestlichen Theiles der Landschaft Skäne (Schonen), die dem Ende der Trias- und dem Anfange der Jura-Periode angehören, kommen die einzigen Steinkohlenflötze

Schwedens vor, welche bei Höganäs, Lilleshon, Helsingborg und anderen Orten gebrochen werden. Die Förderung betrug:

1863	36 257 t
1873	60 162 „
1876	92 352 „
1882	249 000 „
1893	199 933 „

Für 1890 wurden 2 343 895 hl angegeben. 1892 wurden 1 573 224 t Steinkohlen und 44 872 t Koks eingeführt.

Norwegen hat keine Kohlenförderung. 1876 ist durch Bohrung ein Steinkohlenlager auf der kleinen Insel Andö nachgewiesen.

Italien hat nur ein unbedeutendes Steinkohlenlager in der Provinz Udine; das Anthracitvorkommen im Thale von Aosta (Piemont) liefert jährlich nur etwa 600 t[1]). Ausgedehnte Braunkohlenbecken sind in Toscana, Ligurien, in den Provinzen Vicenza, Verona und Bergamo und auf der Insel Sardinien.

Die Braunkohlenförderung betrug:

	t
1860 . . . . etwa	50 000
1870	70 000
1875	101 640
1882	214 000
1891	289 286 Mineralkohlen

und 39 272 t Torf.

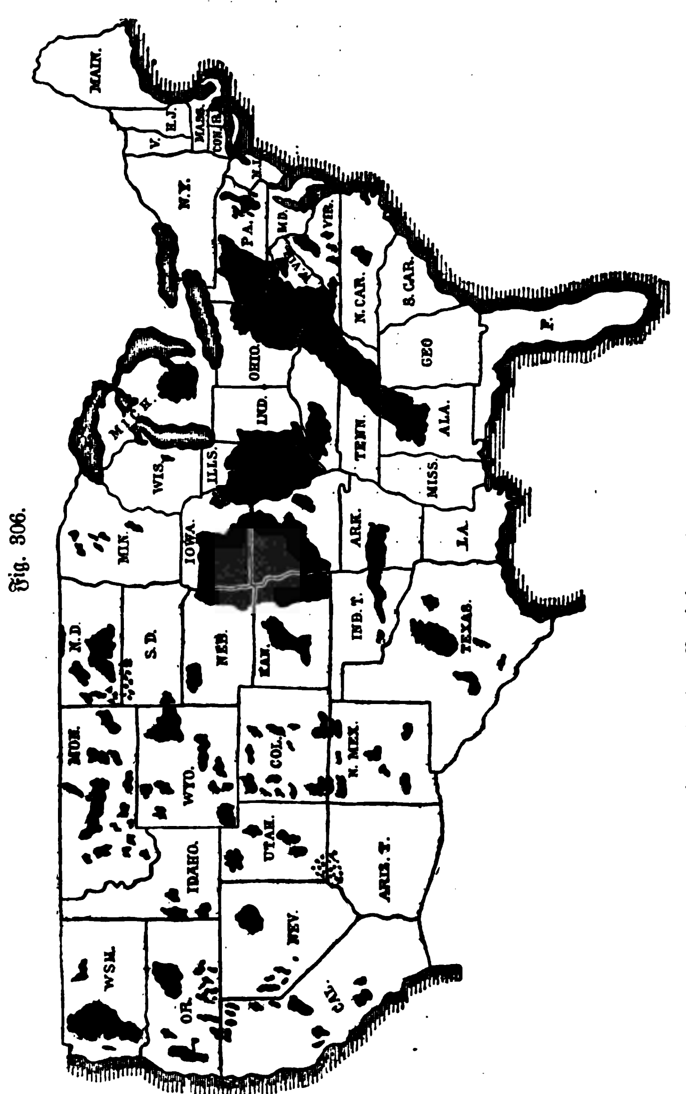
Schweiz. Steinkohlen finden sich in den Cantonen Wallis, Zürich, Freiburg, Bern, Waadt und Thurgau. Für das Jahr 1870 bezw. für 1871 giebt eine Zusammenstellung des eidgenössischen statistischen Bureaus in Bern die Gesammtproduction zu 17 367 t im Gesammtwerthe von 255 000 Frcs., das abzubauende Kohlenareal zu 73,6 ha, die Zahl der Arbeiter zu 180 an. Von Anthracit wurden in derselben Zeit in drei Gruben in Wallis 1813 t gefördert. Braunkohlen finden sich in den Cantonen Zürich, Waadt, St. Gallen und Freiburg. 1870 wurden auf 13 Gruben 17 996 t Braunkohlen gefördert. Die gesammte Förderung an Mineralkohlen beträgt jetzt kaum 6000 t.

Griechenland fördert nur unbedeutende Kohlenmengen. Steinkohlen finden sich auf den Jonischen Inseln. Braunkohle findet sich in Euböa, an der Ostseite von Attika, bei Korinth und an der Westküste des Peloponnes. Früher wurde dieselbe in unbedeutenden Mengen nur auf Euböa und in Attika gewonnen, neuerdings aber auch auf der Insel Antiparos. In Attika werden Braunkohlengruben bei dem Dörfchen Markopulo von einer hellenischen Gesellschaft ausgebeutet. Die gesammte Förderung an Mineralkohle beträgt nur etwa 5000 t.

Rumänien besitzt keine Steinkohle, wohl aber an verschiedenen Orten Braunkohle, von der aber wenig gefördert wird.

[1]) Oesterr. Zeitschr. 1883, 612; Fischer's Jahresber. 1894, 133.

Fig. 306.



Kohlenbecken der Vereinigten Staaten von Nordamerika.

Die Türkei hat nur ein einziges aufgeschlossenes Kohlenlager, nämlich jenes von Eregli an der asiatischen Küste des Schwarzen Meeres, zwischen dem Bosporus und Ineboli, dessen seit 20 Jahren von dem Staate betriebene Ausbeutung aber ganz unbedeutend ist. Auf der Insel Imbros fördert eine deutsche Gesellschaft Kohlen. Kohlenflötze im Balkan werden noch nicht ausgenützt. In Macedonien wurden schon an vielen Stellen Kohlenlager nachgewiesen. In den im Sommer trocken liegenden Flußbetten der in den Vadar einmündenden Seitenthäler treten Braunkohlenflötze in einer Mächtigkeit bis zu 0,5 m zu Tage, beispielsweise in der Umgebung von Köprilu und Üsküb.

In Bosnien sind reiche und mächtige Braunkohlenflötze, welche indessen bei dem vorhandenen Reichthum an Holz bisher ganz unbeachtet gelassen wurden. Ebenso hat Serbien im Kreise Tschuprija bei dem Dorfe Senje ein großes Steinkohlenlager.

Vereinigte Staaten von Nordamerika.

Die Kohlenförderung der Vereinigten Staaten begann nach Höfer[1]) i. J. 1820 mit 365 t und betrug 1830 erst 232 870 t. Dagegen giebt Pechar folgende Tabelle (berechnet auf metrische Tonnen = t).

Jahr	Steinkohle und Braunkohle	Anthracit	Steinkohle	Anthracit
			Durchschnittspreis für 1 t	
	t	t	Mk.	Mk.
1830	1 119 801	212 970		24,78
1840	2 117 222	1 024 351		30,28
1850	1 850 781	3 925 179		15,03
1860	5 239 183	9 964 032	14,33	14,04
1866	7 888 231	14 318 322	24,53	23,95
1867	11 338 516	14 575 174	20,53	18,05
1868	12 647 010	16 063 433	19,78	15,94
1869	12 082 915	16 637 689	20,53	21,93
1870	17 930 843	18 104 815	19,49	18,13
1871	24 389 233	17 667 425	19,49	18,42
1872	23 705 841	22 437 428	19,25	15,45
1873	28 573 714	23 247 016	20,03	17,64
1874	25 652 663	22 014 064	19,12	18,79
1875	26 448 234	20 984 981	18,25	18,13

[1]) Vergl. besonders Höfer und Pechar; s. S. 457.

und für das Jahr 1875:

Nord-Amerikas Vereinigte Staaten und Gebiete	Steinkohle t	Anthracit t	Braunkohle t
Maine	60 960	—	—
Rhode Island	—	11 176	—
Pennsylvania	10 668 000	20 973 805	—
Maryland	2 380 257	—	—
Virginia	—	—	80 467
North Carolina und Georgia	101 600	—	—
Arkansas	9 144	—	—
Washington Territory	—	—	90 322
West Virginia	1 117 600	—	—
Kentucky	381 000	—	—
Tennessee	365 760	—	—
Ohio	4 416 199	—	—
Indiana	812 800	—	—
Illinois	3 556 000	—	—
Michigan	12 192	—	—
Missouri	762 000	—	—
Oregon	—	—	29 261
Utah	—	—	35 560
Wyoming Territory	—	—	282 448
Nebraska	1 321	—	—
Iowa	1 624 000	—	—
Kansas	279 400	—	—
California	—	—	168 758
Colorado	—	—	152 400
Nevada	—	—	1 016
Vereinigte Staaten	25 608 002	20 984 981	840 232 [1])

Die officielle Statistik [2]) faßt unter der Bezeichnung bituminöse Kohle Steinkohle und die verhältnißmäßig geringen Mengen Braunkohle und Lignit zusammen:

---

[1]) Wie Blömeke (Berg- und Hüttenm.-Ztg. 1888, 106) die Braunkohlenförderung für 1884 auf 74 910 228 t angeben kann, ist unerfindlich. — [2]) Mineral Resources of the United States (Washington 1892).

Kohlenfelder	1887 Short tons	1890 Short tons
Anthracit:		
Neu England	6 000	—
Pennsylvania	39 506 255	46 468 641
Colorado und Neu Mexiko	36 000	(unter Kohlen)
Bituminöse Kohle.		
Triassie.		
Virginia	30 000	19 346
Nord Carolina	—	10 262
Appalachian.		
Pennsylvania	30 866 602	42 302 173
Ohio	10 301 708	11 494 506
Maryland	3 278 023	3 357 813
Virginia	795 263	764 665
West Virginia	4 836 820	7 394 494
Kentucky	950 903	1 206 120
Tennessee	1 900 000	2 169 585
Georgia	313 715	228 337
Alabama	1 950 000	4 090 409
Northern.		
Michigan	71 461	74 977
Central.		
Indiana	3 217 711	3 305 737
Kentucky	982 282	1 495 376
Illinois	10 278 890	15 292 420
Western.		
Iowa	4 473 828	4 021 739
Missouri	3 209 916	2 735 221
Nebraska	1 500	2 259 922
Kansas	1 596 879	
Arkansas	150 000	399 888
Indian Territory	685 911	869 229
Texas	75 000	184 444
Rocky Mountains.		
Dakota	21 470	30 000
Montana	10 202	517 477
Idaho	500	—
Wyoming	1 170 318	1 870 366
Utah	180 021	318 159
Colorado	1 755 735	3 094 003
Neu Mexiko	508 034	375 777
Pacific Küste.		
Washington	772 612	1 263 689
Oregon	31 696	61 514
California	50 000	110 711
Einschließlich des Gebrauchs der Kohlenzechen	129 975 557	157 788 656

Nach den neuesten Angaben (Am. Manuf. 1894, 553) betrug die Kohlenproduction im Jahre 1893:

	Product		Werth	
Alabama	5 138 693	Short tons[1])	5 111 583	$
Arkansas	574 763	„	773 347	„
California	72 603	„	167 555	„
Colorado	3 677 526	„	4 605 939	„
Georgia	372 740	„	365 972	„
Illinois	19 949 564	„	17 827 595	„
Indiana	3 721 751	„	3 977 425	„
Indian Terr.	1 252 110	„	2 148 637	„
Iowa	3 901 026	„	5 072 763	„
Kansas	2 553 641	„	3 184 651	„
Kentucky	3 005 010	„	2 610 973	„
Maryland	3 651 631	„	3 209 719	„
Michigan	45 979	„	82 462	„
Missouri	2 897 428	„	3 560 599	„
Montana	913 460	„	1 836 073	„
Neu Mexico	601 145	„	948 248	„
North Carolina	17 000	„	25 500	„
North Dakota	49 580	„	56 150	„
Ohio	13 140 770	„	12 253 794	„
Oregon	41 683	„	164 500	„
Pennsylvania	44 098 053	„	35 208 473	„
Tennessee	1 908 974	„	2 057 977	„
Texas	302 136	„	688 267	„
Utah	413 205	„	611 092	„
Virginia	813 568	„	684 623	„
Washington	1 264 877	„	2 920 876	„
Westvirginia	10 649 985	„	8 225 312	„
Wyoming	2 439 311	„	3 290 904	„
Bituminöse Kohle *	127 498 212	Short tons,	121 671 009	$
Pennsylvania Anthracit	53 950 400	„	85 684 465	„
Gesammt	181 448 612	Short tons,	207 355 474	$

* Einschließlich geringer Mengen Anthracite in Colorado, Neu Mexico und Virginia.

Canada.

Im südlichen Theile Canadas ist das acadische Kohlenbecken; die Abtheilung Neu-Braunschweig ist ohne Bedeutung, Cap Breton hat gute Gaskohle, Neu-Schottland liefert besonders Kesselkohlen. Die Kohlenproduction Neu-Schottlands betrug:

1785	1 668	tons
1800	8 401	„
1820	9 980	„
1840	101 198	„
1860	322 593	„
1870	568 277	„
1880	954 659	„
1884	1 261 650	„

[1]) Short ton = 2000 Pfund = 907,1 k; 1 long ton = 2240 Pfund = 1016,1 k.

Nach Höfer lieferte das acadische Kohlenbecken:

1830	25 240 t
1840	98 267 „
1850	163 728 „
1860	304 129 „
1870	625 769 „
1874	1 872 720 „
1875	781 165 „

Im Jahre 1890 lieferte Canada 3 117 661 tons Kohlen (Berghztg. 1894, Nr. 9).

Neu-Foundland hat Steinkohlen, Manitoba Braunkohlen, Britisch-Columbia besonders Braunkohle. Im Jahre 1893 lieferte Britisch-Columbia an Mineralkohlen:

Nanaimo Colliery	469 312 tons
Wellington Colliery	337 334 „
East Wellington Colliery	27 472 „
Union Colliery	143 927 „
North Thompson Colliery	250 „
Gesammt	978 295 tons.

Dagegen im Jahre 1870 nur 29 863 t Kohlen.

Sonstige Staaten Amerikas.

Mexico liefert erst in neuerer Zeit Kohlen, besonders im Staate Coahuila nahe den Städten Sabinas, San Felipe, Hondo und Alamo; die kohlenführenden Schichten gehören der Kreideformation an, entsprechend den cretaceischen Steinkohlenlagern von Colorado, Utah und Wyoming. Sie bilden die Fortsetzung des gleichaltrigen, jenseits des Rio grande del Norte gelegenen Steinkohlenlagers. Weit ausgedehnte, ziemlich mächtige Anthracitlager sollen im Staate Sonora, am Golf von Californien, nachgewiesen sein. Von geringerer Bedeutung sind die in den Staaten Puebla und Jalisco liegenden Lager (Eng. Min. J. 1894).

Honduras, San Salvador, Nicaragua und Costarica haben Kohlenlager, die aber noch sehr wenig ausgebeutet werden.

Cuba liefert Braunkohlen und hat Steinkohlenlager.

Brasilien hat Steinkohlenlager in der Provinz Santa Catharina und Rio Grande do Sul; die Förderung ist gering.

Chile hat besonders in der Provinz Concepcion Braunkohlenlager; die Förderung betrug im Jahre 1875 360 000 t, 1880 356 000 t; im Süden wird Anthracit gewonnen (Fischer's Jahresber. 1893, 9).

Columbien und Venezuela haben reiche Kohlenlager, aber sehr geringe Förderung.

Peru hat reiche Steinkohlenlager; das Lager in der Provinz Otuzco hat 4 bis 6 m Mächtigkeit, die der Provinzen Huamachuco und Llaray bis 4 m (vergl. Fischer's Jahresber. 1893, 10). Reiche Lignitlager haben Arequipa und Puno (Berghztg. 1894).

Bolivia und Argentinien haben Kohlenlager, aber nur geringe Förderung.

Im arctischen Gebiete sind auf Grönland und Spitzbergen Kohlenlager nachgewiesen.

Asien.

China. In China war nach Marco Polo (s. d.) im Anfang des 13. Jahrhunderts die Mineralkohle schon allgemein im Gebrauche; nach Le Comte sollen sie dort schon seit 2000 Jahren zum Hausbrande gebraucht werden, und seit mehr als 1000 Jahren Kohlensteine aus Kohlenklein und Thon als Bindemittel gemacht werden. Nach anderen Angaben läßt sich der Gebrauch von Kohle in China im 3. Jahrh. nachweisen. In den westlichen Gebirgen sollen die Steinkohlenlager von unglaublicher Ausdehnung, China überhaupt das kohlenreichste Land der Welt sein. Besonders reich an guter Kohle ist die Provinz Schansi; v. Richthofen[1]) hat nachgewiesen, daß der größere Theil der südlichen Hälfte dieser Provinz in einer Ausdehnung von ungefähr 91 000 qkm ein ununterbrochenes Kohlenfeld bildet, welches für die Gewinnung der Kohle Verhältnisse bietet, wie sie in gleich vortheilhafter Weise kein anderes Kohlenlager von ähnlicher Ausdehnung in irgend einem Theile der Erde aufweist. Läge es in Europa, meint v. Richthofen, so würde sich der materielle Fortschritt unseres Continentes jeder Schätzung entziehen. Obgleich alle 18 Provinzen des Reiches Kohlenlager haben, beträgt die Förderung nur etwa 4 000 000 t; nach v. Richthofen Ende der siebziger Jahre:

Provinz Schansi, Anthracit	1 000 000 t,
„ „ bituminöse Kohle	700 000 „
„ Hunan, Kohle im Allgemeinen	600 000 „
Kohlenfeld von Loping in Kiangsi	75 000 „
Der Rest von Kiangsi und die Provinzen Kwangsi, Kwangtung, Fokiën, Tschekiang, Kiangsu, Nganhwéi Hupéi und Kwéitschóu, zusammen	20 000 „
District Tsing-hwa in Honan	60 000 „
Der Rest der Provinz Honan	40 000 „
Die Provinzen Sz'tschwan und Yünnan	50 000 „
„ „ Schensi und Kansu	40 000 „
„ Provinz Schantung	200 000 „
„ „ Tschili	150 000 „
„ „ Schöngking (südliche Mantschurei)	20 000 „
Zusammen	2 965 000 t.

Japan. Die wichtigsten Kohlenfelder liegen im nordwestlichen Theile der Insel Kiushiu, im Districte Karatsu, und auf der Insel Takashima in der Nähe von Nagasaki. Die Karatsukohle lagert nach J. Rein (s. d.) in einer Sandsteinformation. Die Kohlenflötze beginnen an den Bergeshängen und bedecken in einer Mächtigkeit von 1,5 m eine Fläche von etwa 100 km. Das genannte Kohlenfeld ergiebt eine Ausbeute von täglich etwa 100 t reiner Kohle

[1]) Oesterr. Monatsschr. f. d. Orient 1878, Nr. 1.

(1886). Am ergiebigsten zeigt sich das Kohlenfeld auf der Insel Takashima nahe bei Nagasaki. Jene Lager sollen sich sogar unter dem Meere entlang bis zur Insel Kiushiu hinüberziehen. Die Tagesausbeute der Kohlenwerke von Takashima beziffert sich auf 1000 t. Die Kohlen gelangen nach dem Stapelplatze Nagasaki, woselbst fast alle Schiffe anlaufen, um ihre Kohlenvorräthe zu ergänzen. Auf der Insel Kiushiu befinden sich folgende Kohlenfelder im Abbau:

Hirado	Ausdehnung	400 km,
Imabuko	„	155 „
Mike	„	40 „
Taku	„	90 „

Auf der Insel Amakusa, westlich von Kiushiu, sowie in den Provinzen Kii und Owari wird in geringeren Mengen Anthracit gefunden. In der Umgebung von Tokio befindet sich ein größeres Kohlenfeld, dessen Ausbeute indessen zur minderwerthigen Sorte gehört. Braunkohlen und Liguite enthält der nördliche Theil der Insel Nippon. Die Kohlenwerke in Japan werden nach zeitgemäßer Technik mit verbesserten Maschineneinrichtungen abgebaut. Die Gesammtausbeute belief sich im Jahre 1871 auf 112 369 t, im Jahre 1881 auf 700 000 t, im Jahre 1885 aber auf 1 254 000 t.

H. J. Munroe und Thonard[1]) gaben für 1874 an:

Insel Takashima im Hafen von Nagasaki	73 589 t
Becken von Miike	67 385 „
District von Imabuku, Becken von Karastu	33 088 „
„ „ Taku, „ „ „	22 553 „
„ „ Karastu, „ „ „	59 221 „
„ „ Hirado, „ „ „	64 171 „
Das übrige Japan schätzungsweise	76 233 „
Zusammen	396 240 t.

Asiatisches Rußland. Die Steinkohlenlager gehören theils der Steinkohlen-, theils der Juraformation an; die wichtigsten sind: die Steinkohlenlager am östlichen Abhange des Ural, die von Kusnetzk am Altai im Gouvernement Tomsk in Sibirien (seit 1850 gefördert, 1870 = 5730 t), Nischne-Tugunska im Jenisseigebiete, in der Kirgisensteppe (seit 1840, im Jahre 1870 etwa 20 000 t), die Lager im Kaukasus und in Transkaukasien, das Turkestansche Kohlenlager, im Osten von Samarkand, Insel Sachalin u. a. Bei Tiflis wird Braunkohle gewonnen.

Asiatische Türkei hat das einzige Steinkohlenbergwerk von Eregli (Heraclea pontica), welches seit 1841 in höchst mangelhafter Weise ausgebeutet wird, so daß trotz des reichen Vorkommens jährlich nur etwa 125 000 t gewonnen werden. Ferner sind Kohlen in Kurdistan und Zacho nachgewiesen.

Arabien hat im südlichen Theile Kohlenlager. Persien hat zahlreiche Kohlenlager, die aber erst sehr wenig abgebaut sind. Auch Bochara und Ost-Turkestan haben große Kohlenlager, deren Ausbeute aber bis jetzt sehr gering ist.

[1]) Rev. univers. des miners 1877.

Ost-Indien. Steinkohlen werden seit 1775 gewonnen, die Eingeborenen verwenden aber bis heute fast nur Holz und getrockneten Kuhdung. Nach v. Hochstetter liegen die Kohlenfelder Vorder-Indiens in einer Gegend, welche nördlich vom Ganges begrenzt ist und südlich bis über den Godáveri sich erstreckt, während sie in ostwestlicher Richtung von der Umgegend von Calcutta bis zum Nerbudda (Narbada) reichen. Außerhalb dieses Gebietes liegen nur die Kohlenfelder von Kutsch-Behar (in den Darjeeling Territories) am Südabhange des Himâlaya im oberen Flußgebiete des Tista (eines Zuflusses des Brahmaputra) und die Kohlenvorkommnisse in Ober-Assam, im Ditrugarh- und Sibsagar-District. Hinter-Indien hat Kohlen in Birma und Tonking.

Java und Sumatra haben Kohlenlager, sehr reich ist Borneo daran: seit 1892 sind hier Maschinen eingeführt und Bahnen gebaut, so daß hier die Kohlenproduction bald bedeutender werden wird. Auch die Philippinen liefern etwas Kohlen.

Die Kohlenförderung von Ost-Indien und den anderen englischen Besitzungen in Asien betrug 1889 2078000 t.

Afrika.

Bis jetzt sind hier wenig Kohlenlager bekannt. Geringe Kohlenlager sind aufgefunden in Aegypten, Nubien, Abessynien, in Ost-Afrika am Sambesi und in Mosambique. Capland hat Braunkohlen und Anthracit; die Capcolonie förderte im Jahre 1890 33021 t Kohlen, welche aber hohen Aschengehalt haben (Fischer's Jahresber. 1893, 9). Algier fördert Braunkohle, auch Steinkohlenlager sind neuerdings aufgefunden.

Australien.

Neu-Südwales ist reich an Kohlen; Kohle ist 1796 bei Newcastle Harbour entdeckt und wird seit 1802 gefördert; die Förderung betrug:

1830	4000 t,
1840	30256 „
1850	71216 „
1860	368862 „
1870	868564 „
1875	1329729 „

Auch West-Australien und Queensland haben Kohlen. 1889 betrug die Kohlenproduction Australiens 4000000 t.

Tasmanien lieferte 1875 aus vier Gruben 7719 t Kohlen, 1889 aber 41000 t.

Neu-Seeland hat mehrere Kohlenlager, welche 120000000 t Kohlen enthalten sollen (Engineer 45, 21); die Förderung betrug im Jahre 1889 596000 t (Berghztg. 1894, 9).

Neu-Caledonien enthält ebenfalls Kohlenlager.

Erschöpfung der Kohlenvorräthe.

Bei der gewaltigen Steigerung der Kohlenförderung ist es wohl gerechtfertigt zu fragen, wie lange die vorhandenen Kohlenvorräthe noch ausreichen werden?

Schon i. J. 1859 hat Hull eine genauere Berechnung der Ausdehnung und Mächtigkeit aller bauwürdigen Kohlenfelder Englands ausgeführt. Er fand, daß der verfügbare Kohlenvorrath dieses Landes 80 000 Millionen Tonnen betrage, was bei der damaligen jährlichen Ausbeute von weniger als 100 Millionen Tonnen noch für acht Jahrhunderte ausreichen werde. Einige Jahre später zeigte Stanley Jvons, daß der Zeitraum von 800 Jahren viel zu hoch gegriffen sei, daß vielmehr weit früher die englischen Kohlenfelder bis zu 1200 m Tiefe erschöpft sein würden und schon vor Schluß des kommenden Jahrhunderts die Ausbeute so kostspielig werden müsse, daß England nicht mehr im Preise der Steinkohlen mit dem Auslande wetteifern könne. William Armstrong hat im Jahre 1863 in der Versammlung der British Association in Newcastle die Erschöpfung des auf 80 Milliarden Tonnen geschätzten Kohlenvorrathes, bei fortsteigender Production, in etwa 200 Jahren vorherberechnet. Diese Ergebnisse führten 1866 zur Einsetzung einer königlichen Commission unter dem Vorsitze des Herzogs von Argyll, die nach fünfjähriger Arbeit ihren Bericht erstattete. Hiernach sind in den eröffneten Kohlenflötzen noch 90 200 Millionen Tonnen Kohlen enthalten, während noch 56 300 Millionen Tonnen Kohlen in unangebrochenen Lagern vorhanden sein müssen. Der Gesammtreichthum Englands an Steinkohlen berechnet sich demnach auf 146 500 Millionen Tonnen. Hierbei sind alle Flötze bis zu 0,3 m Mächtigkeit und einer Tiefe von nicht über 1200 m in Rechnung gezogen. Solche von weniger als 0,3 m Mächtigkeit sind heute nicht bauwürdig, aber auch für die Zukunft werthlos. In größerer Tiefe als 1200 m ist die Gewinnung von Kohlen aber zu theuer, theilweise auch unausführbar; dazu kommt, daß dort eine Gesteinstemperatur von etwa 44° herrschen muß und daß in größerer Tiefe wahrscheinlich überhaupt wenig Kohle vorhanden sein dürfte. Alle diese Umstände vereinigt, lassen es wenig wahrscheinlich werden, daß der Gesammtreichthum Englands an brauchbaren Steinkohlen größer ist als der oben angegebene Werth, vielleicht ist er sogar noch erheblich geringer. Geht man nun nach Sydney Lupton von der Ausbeute des Jahres 1883 aus und nimmt einen Zuwachs derselben von 3¼ Proc. jährlich an (was den Jahren 1854 bis 1883 entspricht), so läßt sich leicht berechnen, daß der gesammte unterirdische Vorrath Englands an Steinkohlen schon nach 105 Jahren erschöpft sein wird. Allerdings wird die jährliche Zunahme nicht ununterbrochen fortfahren, bis das letzte Stück Kohle zu Tage gefördert ist, sondern sie wird in verhältnißmäßig kurzen Zeiträumen ihre größte Höhe erreichen und dann mehr und mehr sinken, indem die Kohle seltener und theurer wird.

Williams[1]) berechnete, daß der gesammte Kohlenvorrath in etwa

---

[1]) Fischer's Jahresber. 1889, 169.

100 Jahren erschöpft sein würde, und zwar für Süd-Wales schon in 46 Jahren, Northumberland und Durham in 94 Jahren, Schottland in 92 Jahren.

Henry Hall, Bergwerks-Inspector des Vereinigten Königreiches, hat den Kohlenvorrath Großbritanniens auf 100 Milliarden Tonnen geschätzt, mit Einrechnung aller Kohlenlager, die noch ausbeutbar sind, das heißt nicht in einer Tiefe liegen, in welcher die Ausbeutung durch die Erdwärme oder die Förderungskosten unmöglich würde. Unter Berücksichtigung des steigenden Kohlenverbrauchs berechnet er die Dauer des Kohlenvorrathes auf 200 Jahre.

R. Nasse[1]) stützt sich auf den am 27. Juni 1871 erstatteten Bericht der englischen Commission, welcher den Gesammtkohlenvorrath Englands (einschließlich 48465 Millionen Tonnen in mehr als 4000 Fuß = 1220 m Tiefe) auf 195 Milliarden Tonnen schätzt. Er nimmt eine abnehmende Steigerung der Förderung an:

Jahr 1900	217,9 Mill.	engl.	Tonnen	(Zunahme	20	Proc.),
„ 1910	250,6 „	„	„	„	15	„
„ 1920	275,7 „	„	„	„	10	„
„ 1930	289,4 „	„	„	„	5	„

„In den beiden letzten Decennien (von Anfang 1871 bis Ende 1890) sind in Großbritannien und Irland im Ganzen 2954 Millionen engl. Tonnen Steinkohlen gefördert worden. Von Anfang des Jahres 1891 bis Ende 1930 werden bei der angenommenen Steigerung im Ganzen weitere 9800 Millionen, von Anfang 1871 bis Ende 1930 also im Ganzen 12754 Millionen Tonnen gefördert sein. Die von der Kohlencommission ermittelten Gesammtvorräthe an Steinkohlen würden sich daher bis zum Jahre 1930 auf 182191 Millionen oder auf rund 182 Milliarden engl. Tonnen vermindert haben und für eine Jahresförderung von rund 290 Millionen Tonnen alsdann noch 628 Jahre ausreichen oder, wenn nicht schon lange vor dem Herannahen der Erschöpfung eine allmähliche Abnahme der Förderung einträte, im Jahre 2558 erschöpft sein. Am frühesten wird diese Abnahme im nordenglischen Kohlenbecken, dem von Durham-Northumberland, sich bemerklich machen, von dessen Förderung (39,7 Millionen engl. Tonnen im Jahre 1890) zur Zeit fast ein Viertel (9,3 Millionen Tonnen im Jahre 1890) zur See ausgeführt wird."

Angesichts der Berechnungen englischer Fachleute erscheinen diese Ausführungen auffallend günstig; ob die 48 Milliarden Tonnen Kohlen aus der gewaltigen Tiefe gefördert werden können, ist doch recht zweifelhaft.

Die preußischen Oberbergämter erhielten im Sommer 1890 vom Handelsminister den Auftrag, „Ermittelungen darüber anzustellen, welcher Kohlenvorrath nach den bis jetzt erfolgten wirklichen Aufschlüssen, sowie nach der heutigen Kenntniß der in Betracht kommenden geognostischen Verhältnisse und der auf dieselben zu begründenden hinreichend zuverlässigen Schätzungen in den verschiedenen Steinkohlenbecken des Staates vorhanden sei". Aus der Zusammenstellung der Ergebnisse sollte zu ersehen sein, „inwieweit die ermittelten Kohlenvorräthe a) in den einzelnen Steinkohlenbecken, b) innerhalb der

[1]) Nasse: Die Kohlenvorräthe, S. 35.

Berechtsamsgrenzen bestehender gegenwärtig betriebener, bezw. nicht betriebener Bergwerke und Grubenbezirke oder im freien Felde, und c) in den Tiefen bis zu 700 m, von 700 m bis 1000 m und von mehr als 1000 m anstehen".

Für das Ruhrbecken ergab sich nach Nasse (a. a. O. S. 11), daß Ende 1890

	innerhalb der Berechtsamsgrenzen		in bergfreiem Felde	im Ganzen
	bestehender, gegenwärtig betriebener Bergwerke	nicht betriebener Bergwerke		
	Millionen Tonnen			
a) bis 700 m Tiefe	5 046	3 781	1 800	10 627
b) von 700 bis 1000 m Tiefe .	3 385	2 515	1 594	7 494
c) in mehr als 1000 m Tiefe .	6 702	3 550	1 636	11 888
im Ganzen	15 133	9 846	5 030	30 009

oder rund 30 Milliarden Tonnen Steinkohlen anstanden.

Runge[1]) berechnet die Vorräthe auf 33 Milliarden Tonnen, welche noch für 800 bis 1000 Jahre ausreichen, wenn die Förderung allmählich langsamer steigt:

Im Jahre 1900 . . . . 45,5 Mill. Tonnen,
" " 1920 . . . . 57,5 " "
" " 1940 . . . . 61,6 " "

Während für das Saarbecken früher[2]) nur eine Nachhaltigkeit von 166 Jahren angenommen wurde, beträgt nach M. Kliver und Nasse die abbaufähige Kohlenmenge

	auf den Flötzen		im Ganzen
	über 60 cm	von 30 bis 60 cm	
a) bis zu 1000 m Tiefe	8 957	3 177	12 134
b) in mehr als 1000 m Tiefe	4 931	1 644	6 575
oder im Ganzen	13 888	4 821	18 709

[1]) Ruhr-Steinkohlenbecken, S. 309. — [2]) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1884, 89.

Millionen Tonnen. Bringt man für unbauwürdige Feldestheile und Sicherheitspfeiler 25 Proc. in Abzug, so verbleiben auf Flötzen über 60 cm 10416 Millionen Tonnen, welche noch für 833 Jahre ausreichen würden.

Die Kohlenablagerungen bei Aachen enthalten (Millionen Tonnen):

	Inde-Mulde	Wurm-Mulde
bis zu 700 m Tiefe	76	528
von 700 bis 1000 m	39	428
und mehr als 1000 m	—	116
	115	1072

zusammen 1187 Millionen, welche ohne Steigerung der Förderung noch für 800 Jahre ausreichen würden.

Für Oberschlesien ergibt sich der Kohlenvorrath bis zu 1000 m Tiefe:

auf den Flötzen	in den betriebenen Bergwerken	in den nicht im Betriebe befindlichen Feldern und im bergfreien Felde	im Ganzen
	Millionen Tonnen		
in den Schatzlarer Schichten	1 062	16 434	17 496
in den oberen Ostrauer Schichten . . .	3 296	11 084	14 380
in den unteren „ „ . . .	1 429	10 542	11 971
im Ganzen	5 787	38 060	43 847

Nasse schätzt die Förderung für

1900	auf 23,5	Millionen Tonnen,
1920	„ 38,3	„ „
1950	„ 58,2	„ „

u. s. w., so daß die Kohlen noch für 700 Jahre ausreichen würden.

In Niederschlesien stehen auf den über 50 cm mächtigen Flötzen an:

a) bis 700 m Tiefe	754	Millionen Tonnen,
b) von 700 bis 1000 m Tiefe .	155	„ „
c) in mehr als 1000 m „ .	26	„ „
im Ganzen . .	935	Millionen Tonnen,
Hiervon gehen in Sicherheitspfeilern verloren	110	„ „
so daß im Ganzen . . .	825	Millionen Tonnen

gewinnbar verbleiben, welche in 250 Jahren zu Ende sein werden.

Nach den oberbergamtlichen Ermittelungen ist anzunehmen, daß zu Ibbenbüren und zu Osnabrück bis zu 700 m und bezw bis zu 1000 m Tiefe im Ganzen mindestens 136 Millionen, ferner in der Wälderthonformation bei Obernkirchen, am Deister, am Süntel und am Osterwalde 120 Millionen und im Ilefelder Becken etwa 5 Millionen Tonnen Steinkohlen anstehen.

Im Königreich Sachsen stehen nur noch 400 Millionen Tonnen Kohlen an, welche in 100 Jahren erschöpft sein werden.

Der Braunkohlenvorrath im Oberbergamt Halle (vergl. S. 473) wird auf 3,7 Milliarden Tonnen geschätzt, in ganz Deutschland auf 5 Milliarden, entsprechend 3 Milliarden Steinkohlen.

Die voraussichtlich gewinnbaren Kohlenvorräthe Deutschlands betragen nach Nasse:

Steinkohlen:

an der Ruhr (einschl. weiterer Aufschl.) .	50,0	Milliarden Tonnen,
an der Saar	10,4	„ „
bei Aachen	1,8	„ „
in Oberschlesien	45,0	„ „
in Niederschlesien	1,0	„ „
im Königreich Sachsen	0,4	„ „
in den übrigen kleineren Becken	0,4	„ „
oder im Ganzen . . .	109,0	Milliarden Tonnen.
Hierzu: Braunkohlen als Steinkohlen berechnet	3,0	Milliarden Tonnen,
demnach im Ganzen . . .	112,0	Milliarden Tonnen.

Oesterreichs Steinkohlenvorräthe sind nicht genauer bekannt, die Braunkohlenvorräthe wenig. Nach Noback (a. a. O.) hat das Teplitz-Brix-Kommotaner-Revier noch 3500 Millionen Tonnen abbauwürdige Braunkohle, welche noch für 350 Jahre hinreichen. Nasse schätzt die gesammten Kohlenvorräthe Oesterreich-Ungarns auf 17 Milliarden Tonnen, welche für 500 Jahre reichen würden.

Frankreichs Kohlen sollen nach Lapparent[1]) bei der jetzigen Förderung von 24 Millionen Tonnen noch für 700 bis 800 Jahre ausreichen; das würden etwa 17 Milliarden Tonnen sein. Soll die jetzige Einfuhr von 10 Millionen Tonnen ebenfalls gedeckt werden, während der Gebrauch nicht steigt, so würden die Kohlenvorräthe in 500 Jahren erschöpft sein.

Belgiens Kohlenvorräthe schätzt Nasse auf 15 bis 16 Milliarden Tonnen, welche für 700 bis 800 Jahre reichen würden.

Die Kohlenvorräthe Nordamerikas werden auf 684 Milliarden Tonnen geschätzt, welche bei entsprechender Steigerung der Förderung in 650 Jahren erschöpft sein werden.

Wenn hiernach auch noch gewaltige Kohlenvorräthe vorhanden sind, so sind diese doch keineswegs unerschöpflich, vielmehr ist anzunehmen, daß die Erschöpfung noch früher eintritt, als Nasse annimmt. Die heutige Cultur Europas wird dann unhaltbar sein. Jedenfalls ist es sehr wichtig, die vorhandenen Vorräthe gut auszunutzen[2]).

---

[1]) Lapparent: Question du charbon de terre (Paris 1890).

[2]) Vgl. Fischer, Taschenbuch für Feuerungstechniker, 2. Aufl.

Kohlenchemie.

Kohlenanalysen wurden allerdings schon eine Menge ausgeführt. Tabelle S. 498 u. 499 zeigt zunächst Analysen von Braunkohlen aus der Magdeburger Gegend von Alberti u. Hempel, welche für den Magdeburger Dampfkessel-verein ausgeführt wurden, Tabelle S. 499 verschiedene Analysen; sie sind leider unvollständig, da weder Stickstoff noch Schwefel bestimmt wurden. Tabelle S. 500 enthält Analysen deutscher und österreichischer Braunkohlen, Tabelle S. 501 Analysen österreichischer Braunkohlen von Schwackhöfer.

Braunkohlen Zeche	Ort	Wasser	Asche	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel	Analyse stammt aus dem Jahre
Emilie Werner	Harbke	45,00	4,63	36,00	2,27	12,10	1880
„ „	„	46,90	6,42	31,91	2,34	12,43	1886
„ „	„	41,09	5,17	36,48	2,85	13,60	1886
Johanne Henriette . .	Unseburg	46,00	7,07	30,90	2,51	13,52	1881
„ „ . .	„	40,00	6,64	34,62	2,94	15,60	1885
Marie	Atzendorf	46,02	5,88	31,80	2,37	13,93	1881
Anhalt	Frohse	50,00	6,06	30,00	2,47	11,47	1876
„	„	46,98	6,53	30,05	2,19	14,25	1881
„	„	42,00	6,99	35,05	3,07	12,89	1882
„	„	45,20	6,03	33,70	3,01	12,06	1885
„	„	44,10	5,79	31,20	2,63	16,28	1885
August Ferdinand . .	Harbke	47,82	6,83	29,74	2,28	13,33	1882
„ „ . .	„	58,10	5,97	23,65	1,76	10,52	1885
„ „ . .	„	50,56	5,67	28,69	2,79	12,29	1885
„ „ . .	„	47,00	6,89	30,92	2,35	12,84	1886
„ „ . .	„	38,80	6,36	37,82	3,18	13,84	1886
Marie Louise	Reindorf	41,00	10,84	32,37	2,03	13,76	1876
„ „	„	39,10	7,55	35,20	2,85	15,30	1885
Jacobsgrube	Börnecke	46,10	6,40	31,17	2,63	13,70	1882
Prinz Wilhelm	Helmstedt	49,50	5,35	30,80	2,63	11,72	1882
„ „	„	46,61	5,53	31,84	2,58	13,44	1885
„ „	„	39,90	7,20	34,61	2,75	15,54	1885
Trendelbusch	„	45,00	5,78	33,72	2,65	12,85	1882
Grube Treue	Trendelbusch-Offleben	48,00	6,68	30,27	2,68	12,37	1882
„ „		44,60	6,15	32,68	2,55	14,02	1885
Meuselwitz	Leipzig	43,00	7,02	32,70	2,83	14,45	1882
Sophie	Wolmirsleben	45,00	7,92	32,54	2,35	12,19	1882
Reichenwalde	Frankfurt a.O.	45,00	4,27	35,07	2,52	13,14	1882
Friedr. Christian . . .	Aschersleben	48,00	6,71	29,94	2,43	12,92	1882
„ „	„	42,00	6,39	35,04	3,07	12,89	1882
Concordia	Nachterstedt	42,08	6,33	34,47	3,14	13,98	1876
„	„	44,50	5,54	33,90	2,68	12,90	1882
„	„	42,00	5,81	35,90	3,07	13,22	1885

Zeche	Ort	Wasser	Asche	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel	Analyse stammt aus dem Jahre
Concordia	Nachterstedt	44,00	8,01	34,36	2,96	14,67	1885
Louise	Hötensleben	46,10	7,97	30,48	2,64	12,81	1874
Alfred	Gnadau	46,00	7,51	30,90	2,50	13,09	1876
Caroline	Offleben	46,00	5,96	33,31	2,41	12,32	1876
Bertha	Hamersleben	47,00	6,93	31,83	3,24	11,00	1876
Georg	Aschersleben	49,00	7,16	29,37	2,36	12,11	1882
Hercynia	Thale	50,00	4,80	30,17	2,16	12,87	—
Meißner		40,90	7,98	36,44	2,62	12,06	—
Verein Eintracht	Wellnitz	45,70	7,37	33,90	2,51	13,52	—
Carl	Förderstedt	49,60	6,37	28,64	1,84	13,55	—
Alexander	"	46,40	5,68	31,73	2,46	13,73	—
Gute Hoffnung	Mühlingen	44,23	7,30	30,78	2,75	14,44	1885

Braunkohle von	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff u. Stickstoff	Wasser	Asche	
Perleberg a. d. Elbe	64,07	5,03	27,55	trocken	3,35	Heintz (Brix 378)
Frankfurt a. d. O.	59,65	4,86	26,41		9,09	
Nauen, Stückkohle	61,38	4,91	23,57		10,14	
" Förderkohle	59,00	4,55	25,77		10,68	
" Preßkohle	55,59	4,16	19,06		21,19	
Tollwitz I	64,70	5,63	18,11		11,56	
" II	62,07	5,56	19,90		12,47	
Zscherben	64,26	5,76	17,44		12,54	
Stecha	64,53	5,17	25,35		4,95	
Biere	52,80	4,99	15,67		26,54	
Schöningen, Trendelbusch	60,97	4,92	24,54		9,57	Frühling und Schulz (B.- u. Hüttenztg. 1877, 359)
" Prinz Wilhelm	63,16	5,16	24,51		7,17	
" Treue	64,31	5,63	21,23		8,83	
Josefizeche Davidsthal	59,23	5,99	11,88	16,12	6,78	Münchener Vers. (Bayr. Ind. 1881, 96)
Agneszeche "	61,97	6,31	11,82	14,06	5,84	
Falkenau "	49,79	4,43	12,58	28,92	4,28	
Rudiayzeche bei Bilin	49,22	3,75	15,23	25,92	5,88	
Duxer Salonkohle	52,03	4,26	15,22	23,35	5,14	
Lepeny, Siebenbürgen, v. Hangenden	73,42	4,80	14,43	3,60	3,75	Primoznik (Fischer's J. 1888, 2)
" " Mittelbank	69,00	5,00	13,30	2,30	10,40	
" " v. Liegenden	72,70	5,07	14,13	3,90	4,20	
Kostolac, Serbien	53,59	3,37	20,11	17,08	5,85	Losanitsch (Ber. d. Ges. 1887, 2717)
Lea reka	49,91	3,27	23,11	16,01	7,70	
Bojnik	54,32	3,60	21,93	12,74	8,01	
Miliva	59,44	4,14	24,73	10,33	1,36	

Braunkohlen von	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Schwefel	Wasser	Asche	Analytiker
Uslar, Braunkohlen	30,04	2,10	14,80	0,76	1,12[1])	50,12	1,06	F. Fischer
Gangelsberg b. Berlin (vergl. S. 502)	31,71	2,09	10,05	0,62	0,60[1])	49,89	4,04	
Webau, Braunkohlen	61,38	6,03	13,41	0,50	0,37[1])	—	8,31	
Kaltennordheim (s. Weimar), Lignit	48,70	4,48	22,64	—	—	22,88	1,30	Klinger u… Reichar… und Hütt… 1879, 22…
Balkenstein (Bayern), Lignit	56,68	4,20	32,91	Spur	0,70	3,31	2,20	
Antonstolln b. Hausen, „	60,60	3,33	26,64	—	0,96	4,30	4,17	
Bauersberg (s. Weimar), dunkel Lignit	56,23	5,17	26,18	—	0,67	10,77	0,98	
Bauersberg (s. Weimar), hell Lignit	60,44	5,30	22,01	Spur	0,86	10,74	0,65	
Kaltennordheim, Braunkohlen	43,80	3,67	19,36	—	—	27,35	5,73	
Antonstolln (Bayern), „	34,80	3,00	20,70	2,40	3,80	22,40	12,90	
Roth „ „	39,10	2,75	8,25	0,90	6,50	23,50	19,00	
Bauersberg „ „	34,10	2,74	15,41	Spur	1,91	15,44	30,44	
„ „ „ erdig	24,60	2,59	23,00	—	4,32	17,00	28,50	
Balkenstein (Bayern), Pechkohle	75,10	4,30	18,80	—	—	2,70	1,10	
Hillenberg „ „	74,00	3,35	17,75	—	1,10	1,80	2,00	
Antonstolln „ „	72,45	3,80	13,73	—	1,50	3,00	5,55	
Dietgeshoff b. Tann (Preußen), Pechkohle	70,60	3,54	20,75	—	0,70	2,80	1,61	
Wüstensachsen (Preußen), Pechkohle	76,17	3,90	17,52	—	0,30	0,55	1,56	
Schallthal (Steiermark), Lignit	48,20	4,87	34,68	—	0,13	11,54	0,71	Schöffel (F… J. 1887, …
Diosgyör (Ungarn), Pechkohle	44,79	3,10	7,88	0,95	1,45	26,77	15,06	Berghztg. 1… 169
Carpanothal (Istrien), Braunkohle, untere Schicht	63,69	5,03	13,12	1,79	7,53	1,46	8,84	Hanke (Fi… J. 1887)
Carpanothal (Istrien), Braunkohle, obere Schicht	64,26	4,85	13,03	1,04	8,53	1,57	8,29	
Carpanothal (Istrien), Braunkohle, obere Schicht	65,86	4,84	11,45	1,22	8,93	1,53	7,68	
Dux, Nelsonschacht	65,15	5,08	17,64	—	—	5,69	6,44	John u. F… lon (Fi… J. 1888, 1…
„ Antonzeche	47,23	4,02	18,98	—	0,11	23,86	5,80	
Brix, Theresiengrube	50,84	4,69	16,32	—	—	24,75	3,40	
„ Saxonia	44,06	2,43	5,75	—	1,40	36,90	9,46	
Banjaluca, lufttrocken	35,86	4,32	24,42	—	4,83	20,01	10,56	
Dux-Ladowitz	44,36	3,51	14,33	0,54	—	31,59	5,67	Nevole (Fi… J. 1888, 2…
Mantauer Klara-Schacht	53,59	3,46	9,71	0,35	—	15,83	17,06	
Bilin	52,75	3,19	9,72	0,47	—	29,82	4,05	
Ajka	27,61	5,30	32,12	—	0,45	26,49	8,03	Cech (Org. … benz. 1885, …

[1]) Flüchtiger Schwefel; vergl. S. 502.

Oesterreichische Braunkohlen (nach Schwackhöfer)	Aschen- und wasserfreie Kohle: Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Schwefel	Wasser	Asche
Thallern, Niederösterreich	69,93	5,05	23,96	1,36	0,65	19,73	15,78
Wolfsegg-Traunthal, Oberösterreich	66,69	4,75	27,27	1,29	0,32	30,09	9,35
Leoben, Grieskohle, Steiermark	70,97	4,88	23,35	0,80	0,33	11,34	10,22
" Stückkohle "	72,53	4,91	21,73	0,83	0,40	10,58	6,10
Fohnsdorf, Würfelkohle, "	72,51	5,08	21,43	0,98	1,20	10,78	10,98
Köflach, Stückkohle	66,94	5,42	26,85	0,79	0,29	28,08	5,86
Trifail	70,03	5,03	23,33	1,61	1,31	21,71	9,88
Arsa, Küstenland	72,19	4,77	21,55	1,49	7,89	2,02	13,12
Aussig, Annaschacht, Böhmen	60,85	5,49	33,02	0,64	0,92	25,90	4,77
Karbitz, Austria-Teutoniaschacht, Böhmen	71,92	5,60	21,37	1,11	0,54	26,25	7,04
Mariaschein, Elbe-Collierz, Böhmen	70,78	5,27	23,01	0,94	0,44	27,42	4,72
" Bohemia, Böhmen	71,90	5,18	21,78	1,14	0,29	29,64	3,29
Dux, Eleonorenschacht, "	72,76	5,51	19,57	2,16	0,24	28,55	5,03
" Stückkohle, Böhmen	73,06	5,27	21,21	0,46	0,76	29,00	6,80
" Mittelkohle, "	73,34	5,34	20,49	0,83	0,42	23,71	5,55
" Liptitz, Franziskaschacht	73,76	5,55	19,87	0,82	0,43	32,29	4,45
" Ladowitz, Frauenlobschacht	72,47	5,56	20,80	1,17	1,50	26,71	6,08
Bilin, Amalienschacht	71,20	5,51	22,32	0,97	1,58	27,31	7,55
" Emeranzeche	73,36	5,65	19,13	1,86	0,57	25,90	6,04
Ossegg, Nelsonschacht, Nußkohle	73,33	5,43	19,98	1,26	1,46	22,87	4,94
" " Glanzkohle	75,55	5,41	18,33	0,71	0,41	28,73	5,52
" " Grobgries	73,73	5,34	20,27	0,66	1,26	26,45	5,33
Brux, Mariahilf	71,88	5,25	21,67	1,20	0,66	34,07	10,84
" " Nußkohle	73,05	5,39	20,42	1,14	0,44	34,58	7,68
" Juliusschacht I	73,79	5,55	19,74	0,92	0,76	27,42	5,40
" " II	73,79	5,55	19,74	0,92	1,41	22,46	8,83
" Victoria-Tiefbau	73,70	4,99	20,38	0,93	1,75	27,10	5,72
" Guidoschacht	72,21	5,49	21,32	0,98	0,63	26,47	5,23
" Humboldt	74,68	5,46	19,03	0,83	0,99	26,82	5,44
Neufeld (Ungarn), Würfelkohle	60,89	5,18	33,08	0,85	2,76	42,45	13,97
" " Grieskohle	67,00	5,35	26,35	1,30	2,09	23,92	27,07
Siebenbürgen, Egeres	71,47	5,28	21,87	1,38	4,58	13,54	12,99

Der Schwefelgehalt der Braunkohlen wird in sehr vielen Analysen nicht berücksichtigt, ein nicht zu rechtfertigender Mangel, da der Schwefelgehalt mancher Braunkohlen sehr hoch ist, so daß bei Nichtberücksichtigung desselben die Zahlen für Sauerstoff viel zu hoch ausfallen. Bayerische Kohlen enthalten z. B. bis 6,5 Proc., istrische (Tabelle S. 500) sogar 9 Proc. Schwefel. Spanische Lignite enthalten nach Villot[1]) 0,2 bis 5,3 Proc. Schwefel und 2 bis 14 Proc. Asche, Braunkohlen von Schönstein, Oesterr.-Schlesien, enthalten bei 20 Proc. Asche viel Schwefel[2]). Da nähere Angaben fehlen, so ist dieses wohl Gesammtschwefel (nach Eschka o. dgl.). Die Asche von ungarischer Kohle enthält aber z. B. 15 Proc. Schwefelsäure (SO_3)[3]), eine Braunschweiger Kohle nach Untersuchung des Verf. 4,1 Proc. Gesammtschwefel, aber nur 1,8 Proc. flüchtigen Schwefel, so daß 2,3 Proc. in der Asche bleiben, also für Feuerkohle unschädlich waren (vgl. S. 522). Schwackhöfer (vgl. S. 509) behauptet, der (flüchtige) Schwefel sei als Schwefelkies vorhanden, gehöre daher nicht zur eigentlichen Kohle und sei — wie auf S. 501 — gesondert aufzuführen. Bei vielen Kohlen trifft das jedenfalls nicht zu, vielmehr ist der Schwefel sehr oft organisch gebunden.

Analysen von Steinkohlen wurden bereits von Thomson[4]) im Jahre 1820 ausgeführt, sodann von Richardson[5]), Karsten[6]), Regnault[7]), Schönberg[8]), Brückner[9]), Keck[10]), Feichtinger[11]), Casselmann[12]), v. Hauer[13]), Grundmann[14]), auf welche, wie auch auf die unvollständigen Analysen der Münchener Anstalt[15]), von Brix[16]), H. S. Poole[17]), Fleck[18]), Sauerwein[19]) und des berggewerkschaftlichen Laboratoriums[20]) hingewiesen sei.

Tabelle S. 504 zeigt eine Zusammenstellung der neueren Analysen deutscher Steinkohlen.

Die erste umfassende Untersuchung deutscher Kohlen wurde von W. Stein[21]) ausgeführt. Aus der eingelieferten Kohlenprobe, etwa 10 k, wurden erst verschiedene Stücke ausgesucht (2 bis 3 k), welche dem äußeren Anschein nach die mittlere Beschaffenheit der Kohlensorte darstellten. Diese wurden zur Pfefferkorngröße zerkleinert und zur Ausführung mehrerer Einzelanalysen verwendet, um die vorkommenden Verschiedenheiten in der Zusammensetzung kennen zu lernen. Dann wurde die ganze Kohlenmenge, einschließlich der genannten

---

[1]) Ann. des mines 1877, 339. — [2]) Oesterr. Zeitschr. Bergh. 1887, 133. — [3]) Fischer's Jahresber. 1887, 2. — [4]) Annals of Philos. 14. — [5]) Journ. f. pr. Chem. (1837) 11, 165. — [6]) Karsten, Untersuchungen über die kohligen Substanzen des Mineralreichs (Berlin 1826). — [7]) Journ. f. pr. Chem. 13, 143. — [8]) Ebendas. 17, 417. — [9]) Ebend. 53, 421. — [10]) Kunst- u. Gew.-Bl. 1857, 411. — [11]) Ebend. 1863, 211. — [12]) Ann. d. Chem. 89, 372. — [13]) Jahrb. d. geol. Reichsanst. 1850, 609. — [14]) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 9, 360; 10, 333; 12, 175. — [15]) Bayer. Ind.- u. Gew.-Bl. 1879, 241; 1881, 1. — [16]) Brix: Heizkraft (Berlin 1853). — [17]) Eng. Min. Journ. 1876 (I), 419. — [18]) Dingl. Journ. 180, 460; 181, 48; 195, 434. Fleck und Hartig, Steinkohlen Deutschlands, S. 274. — [19]) Mitth. des Hannov. Gewerbevereins. — [20]) Muck: Steinkohle (Leipzig 1891). — [21]) Stein: Untersuchung der Steinkohlen Sachsens 1857.

Proben, gepulvert und hiervon die Analyse ausgeführt; z. B. (S. 51):

	Kohlenstoff		Wasserstoff	
	aschenhaltig	aschenfrei	aschenhaltig	aschenfrei
I	74,27	78,91	4,42	4,70
II	77,34	82,09	5,00	5,31
III	78,41	82,26	5,07	5,32
Mittel	76,67	81,09	4,83	5,11
Dir. ges.	77,11	82,20	2,81	3,22

Die Analyse der Hauptdurchschnittsprobe gibt also ganz erheblich weniger Wasserstoff als der berechnete Durchschnitt, ja verglichen mit Probe III. bei gleichem Kohlenstoffgehalte (aschenfrei) 2,1 Proc. Wasserstoff weniger, d. h. bezogen auf den vorhandenen Wasserstoff 40 Proc. weniger.

Dagegen gab (Analyse 41) Probe III. aschenfrei 3,30 Proc., die Durchschnittsprobe aber 6,17 Proc. Wasserstoff. Bei anderen Kohlen schwankt besonders der Kohlenstoffgehalt, z. B.:

	Kohlenstoff:		Wasserstoff:	
	aschenhaltig	aschenfrei	aschenhaltig	aschenfrei
I	61,97	69,01	2,83	3,16
II	74,58	78,58	4,32	4,56
III	76,03	78,70	4,35	4,50
IV	78,74	79,37	4,57	4,61
V	83,39	87,73	5,14	5,41
Mittel	74,92	78,68	4,24	4,45
Dir. ges. . . .	76,03	78,74	4,35	4,51

Obgleich also die Einzelproben „dem äußeren Ansehen nach die mittlere Beschaffenheit der Kohlensorte darstellten“, ergeben sich Unterschiede von 19 Proc. Kohlenstoff und 2,3 Proc. Wasserstoff der aschenfreien Kohle. So bedeutende Schwankungen in der Zusammensetzung der Kohle einer Grube werden allerdings nicht häufig vorkommen; die Tabelle S. 508 zeigt eine Anzahl der mitgetheilten Durchschnittsanalysen. Nicht minder auffallend ist aber andererseits die Uebereinstimmung der von Bunte[1]) mitgetheilten Analysen (s. S. 506) von Gaskohlen; so gleichartige Zusammensetzung, wie z. B. Hansakohle (Jahresbericht 1888, 105) zeigt, ist doch wohl nur Zufall.

Beachtenswerth sind die Analysen von Grundmann[2]) (S. 509).

Analysen österreichischer Kohlen giebt besonders Schwackhöfer[3]). Als Schwefel wird nur flüchtiger angegeben (vergl. S. 502). Von den zahlreichen Analysen mögen folgende (S. 510) angeführt werden, welche meist Durchschnittswerthe mehrerer Analysen darstellen. Darnach haben die österreichischen Steinkohlen meist einen hohen Aschengehalt. Der Kohlenstoffgehalt der Kohlensubstanz schwankt von 70,3 bis 87,8 Proc. Andere Analysen österreichischer Steinkohlen zeigt Tabelle S. 511.

[1]) Journ. f. Gasbel. 1888, 863; Fischer's Jahresber. 1888, 104. — [2]) Carnall's Zeitschr. 9, 10 u. 11. — [3]) F. Schwackhöfer, Chemische Zusammensetzung der in Oesterreich-Ungarn verwendeten Kohlen (Wien 1893). — Seine Angriffe auf den Verfasser wurden bereits in der Zeitschr. f. angew. Chem. 1893, S. 398 zurückgewiesen.

Deutsche Steinkohle	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Wasser	
Ruhrkohlen.								
Sälzer und Neuack, I . . .	79,63	4,08	1,22	4,43	0,88	6,76	3,00	F. Fischer. P[…] J. 248, 73; [Fi]scher's Jahre[…] 1881, S. 1[…] 1883, S. 1[…] 1885, S. 1210 1297.
" " " II . . .	76,01	4,26	1,01	4,42	1,21	9,96	3,13	
Hansa	80,18	5,29	0,61	8,10	0,52	4,22	1,08	
Germania	80,91	3,11	0,91	7,14	0,51	7,42	—	
Shamrock	85,15	4,62	6,20		1,04	1,94	1,06	
Sälzer und Neuack	85,62	4,65	1,71	5,93	—	2,09	—	Heintz a. a. O.
Franziskatiefbau	77,10	4,55	11,79		—	6,56	—	
Rhein, Elbe und Alma . . .	81,38	5,03	4,38		2,08	5,61	1,52	Düsseldorfer Beri[cht] 1880 (Polyt. […] 250, 75).
Bonifacius	80,88	5,51	4,53		1,37	5,92	1,79	
Kohlscheid	87,86	5,21	0,95		0,74	4,04	1,20	
Königsgrube	72,21	4,83	8,91		1,38	7,40	5,27	
Zollverein	76,92	4,69	6,51		1,54	6,26	4,08	
Holland	81,61	4,56	7,11		1,25	3,50	1,97	
Pluto	83,84	4,78	6,63		1,15	2,08	1,52	
Germania	80,83	4,42	5,90		1,12	6,21	1,52	
Königin Elisabeth	85,62	5,30	3,00		1,10	3,72	1,26	
Consolidation	81,75	5,11	9,09		1,04	1,35	1,66	A. Bauer (Polyt. […] 280, 66).
Pluto	80,97	5,05	9,27		0,41	2,78	1,52	
Ewald	79,27	5,13	10,36		0,63	2,43	2,18	
Harpener	79,01	4,32	5,61		1,12	9,48	0,46	
Saarkohlen.								
Maybach, Flötz II	79,67	5,21	8,37		0,70	4,45	1,60	
Kreuzgräben, Flötz I	80,43	5,24	7,94		0,49	4,45	1,45	
Heinitz I	79,64	5,02	10,52		0,53	2,94	1,33	
Camphausen, Flötz III . . .	80,35	5,21	7,84		0,86	4,52	1,22	
Louisenthal, Würfel	70,33	4,67	11,39		1,05	7,74	4,82	
Duttweiler	83,63	5,19	0,60	9,06	—	1,52	—	Heintz a. a. O.
Inde- und Worm-Revier.								
Centrum bei Eschweiler . . .	63,69	4,07	1,25	7,00	—	3,99	—	
" Flötz Gyn	90,62	4,50	1,31		—	3,57	—	
Athgrube bei Aachen	90,41	4,03	4,11		—	1,45	—	
Deisterkohle.								
Bantorf	67,41	4,37	1,36	8,28	2,34	16,24	—	F. Fischer.

eutsche Steinkohlen	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Wasser	
Schlesien.								
bogrube	77,79	4,85	10,07		0,57	5,05	1,67	A. Bauer
anuelsegen	66,57	4,24	0,90	14,65	0,90	4,17	9,47	Schwackhöfer, a. a. O., S. 52. Als Schwefel ist nur der flüchtige angegeben.
slowitz, Tiefbau	66,45	3,75	1,35	12,57	0,93	5,87	10,01	
dinandgrube, Förderkohle .	70,26	4,06	0,99	11,99	0,86	8,29	4,41	
„ Nuß	71,46	4,11	0,90	11,55	0,66	5,97	6,00	
lerloo, Nuß	70,44	4,00	0,92	13,91	0,52	5,05	5,68	
densteinsegen, Würfel . .	68,71	3,80	1,21	12,55	0,59	4,08	9,65	
„ Nuß . . .	70,84	3,81	1,05	12,39	0,56	3,19	9,08	
igshütte, Förderk. . . .	60,27	3,27	0,68	10,72	1,22	20,83	4,23	
„ Nuß	73,36	4,32	1,10	10,22	0,41	5,44	5,56	
ilusgrube, Würfel . . .	75,39	4,27	0,97	11,77	0,52	3,12	4,48	
„ Nuß	71,22	3,82	0,97	11,23	0,53	9,05	3,71	
ßendgrube, „	70,62	4,06	0,78	13,27	0,92	5,69	5,58	
rgenroth, „	69,28	3,83	1,05	13,18	0,60	3,93	8,73	
ldenburg, „	75,28	4,27	0,93	8,98	0,90	8,39	2,15	
„ Förderk.	71,84	4,19	0,77	10,01	0,93	11,03	2,16	
rode, Josephflötz	79,13	4,30	0,96	7,74	2,18	4,39	2,84	
rgenroth, Paulusflötz . .	82,40	4,90	9,10		—	3,60	—	Fleck, zahlreiche unvollständige Analysen (Polyt. J. 195, 446).
„ Veronicaflötz . .	86,60	4,70	6,60		—	2,10	—	
igin-Louisengrube	73,91	4,85	2,49	15,10	—	3,65	—	Heintz, a. a. O., zahlr. unvollst. Anal.
ldenburg	71,82	4,27	0,50	7,95	—	10,29	5,17	Revole (Zeitschr. f. angew. Chem. 1887, S. 302).
rode	63,06	4,00	0,58	8,59	—	16,01	7,76	
iusschacht	69,90	4,28	0,54	8,80	—	8,67	7,81	
Bayern.								
elbach	82,04	4,34	2,32	11,30	1,60	8,32	—	Schafhäutel (Kunst- u. Gewerbebl. 1857, S. 411).
sbach	73,06	4,90	1,76	20,32	5,36	1,08	—	
„	72,77	6,38	1,41	20,92	4,44	1,12	—	
„	50,00	4,00	17,00		3,00	16,00	10,00	Heyrowsky 1884.
„	49,99	4,15	19,36		2,77	11,11	15,39	Münchener Vers.-St. (Bayer. Ind.- u. Gewerbebl. 1881, S. 1). Die Schwefelbest. bez. sich nicht auf dieselb. Proben.
sham	53,64	4,80	19,97		3,53	13,06	8,53	
zberg	56,20	5,04	18,10		2,77	10,34	10,32	
ßenberg	55,70	3,99	17,95		3,42	10,27	12,09	
liersee	64,38	5,04	21,22		—	9,36	—	Fleck u. Hartig a. a. O., S. 285.
Baden.								
ghaupten, beste	80,92	3,65	7,37		—	8,06	—	
en-Baden	86,01	3,97	6,90		—	3,07	—	

Kohlen-Zeche	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Schwefel	Stickstoff	Wasser	Asche	Kohlensubstanz	Reinkohle			100 Rohkohle geben Koks
									C	H	O + S + N	
Schlesische Kohlen.												
Oberschlesien:												
Guidogrube	80,37	4,86	7,12	0,94	1,32	2,75	2,64	94,61	84,95	5,14	9,91	65,3
Königin-Louisengrube	79,79	4,92	7,01	0,80	1,37	2,19	3,92	93,89	84,98	5,24	9,78	66,0
" " Pochhamer Flötz	79,72	4,89	7,26	0,71	1,38	2,88	3,16	93,96	84,85	5,20	9,95	64,8
" " Poremba Flötz	80,29	4,87	6,71	0,71	1,46	2,43	3,53	94,04	85,38	5,18	9,44	64,6
Deutschlandgrube	79,67	4,88	7,47	0,89	1,27	2,93	2,89	94,18	84,59	5,18	10,23	63,8
Florentine	77,27	4,75	8,99	0,60	1,27	4,14	2,98	92,88	83,20	5,11	11,69	62,5
Orzesche	74,04	5,20	8,85	1,15	1,33	3,55	5,88	90,57	81,75	5,74	12,51	59,7
Niederschlesien:												
Glückhilfgrube Wrangel und v. d. Haydtschacht	79,72	4,77	4,00	1,19	1,07	2,05	6,74	91,21	87,40	5,28	7,37	68,8
Friedenshoffnunggrube (Charlottenburg)	79,88	4,98	5,58	1,25	1,14	1,35	5,82	92,83	86,05	5,36	8,59	66,9
Ostrau-Karwiner Gaskohle	76,98	4,94	6,82	0,84	1,09	1,95	7,38	90,67	84,90	5,45	9,65	65,8
Dombrauer Gaskohle (Budapest)	79,10	5,08	7,18	0,82	1,20	2,45	4,17	93,38	84,71	5,44	9,85	62,8
Westfälische Kohlen.												
Rhein-Elbe-Alma	79,82	4,96	4,79	0,82	1,25	8,00	5,86	91,64	87,10	5,41	7,49	69,0
Pluto	71,98	4,51	5,30	1,56	1,82	2,42	12,96	84,62	85,00	5,33	9,67	72,1
Bonifacius	78,28	4,63	4,93	1,50	1,46	2,74	11,46	85,80	85,41	5,40	9,19	70,2
Wilhelmine Victoria	75,86	4,74	5,81	0,92	1,46	2,60	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Hibernia	82,97	5,08	5,29	0,81	1,53	2,10	2,22	95,68	86,72	5,81	7,97	67,2
Zollverein	83,33	5,11	5,76	1,20	1,58	0,97	2,05	96,98	85,93	5,27	8,80	67,8
Dahlbusch	81,04	5,20	5,04	0,82	1,57	2,12	4,21	93,67	86,52	5,55	7,93	67,6
Unser Fritz	74,80	4,75	6,10	0,85	1,39	2,46	9,65	87,89	85,11	5,40	9,49	68,4
Königsgrube	78,93	5,11	5,74	0,94	1,42	2,00	5,86	92,14	85,66	5,55	8,79	66,7
Hansa	79,16	5,16	5,67	1,85	1,53	1,95	4,68	93,37	84,78	5,53	9,69	66,0
Holland	77,81	4,96	6,77	1,47	1,48	1,40	6,11	92,49	84,13	5,36	10,51	66,6
Hugo	79,73	5,22	6,75	0,88	1,43	1,65	4,34	94,01	84,81	5,55	9,64	65,7
Friedrich der Große	79,66	5,13	5,90	1,32	1,65	1,98	4,36	93,66	85,05	5,48	9,47	65,0
Bismarck	68,15	4,46	6,54	1,56	1,26	5,10	12,93	81,97	83,14	5,44	11,42	65,4
Ewald	77,38	5,04	5,75	0,82	1,54	2,78	6,87	90,35	85,64	5,58	8,78	63,0
Saarkohle.												
Heinitz I.	77,29	4,97	7,48	0,72	1,06	2,00	6,48	91,52	84,45	5,43	10,12	66,4
Sächsische Kohlen.												
Plauenscher Grund v. Burgkische Kohlenwerke	69,29	4,73	5,35	1,73	1,32	4,00	13,58	82,42	84,07	5,74	10,19	64,0
Hohndorf-Bokwa. Vereinigtes Feld (Leipzig)	73,51	4,74	7,26	1,21	1,21	8,60	3,47	87,93	83,60	5,39	11,01	59,1
Erzgebirgischer Verein	67,87	4,89	7,88	1,05	1,20	6,93	10,18	82,89	81,88	5,90	12,22	58,9
Vereinsglück Zwickau	72,55	4,81	8,48	0,78	1,21	8,85	3,32	87,83	82,60	5,48	11,92	54,2
Zwickau-Brückenbergschacht (Dresden)	73,27	5,42	7,08	1,27	1,27	6,72	4,97	88,31	82,97	6,14	10,89	56,5
Zwickau-Oberhohndorf. Wilhelmschacht	72,70	5,03	7,92	0,89	1,27	8,15	4,04	87,81	82,79	5,73	11,48	54,4
Bürgergewerkschaft	68,75	4,91	7,70	2,13	1,22	7,79	7,50	84,71	81,16	5,80	13,04	54,9
Böhmische Kohlen.												
Sulkow	72,59	4,92	7,81	0,73	1,35	6,80	5,80	87,40	83,06	5,63	11,31	58,6
Thurn und Taxis	71,97	5,36	8,11	0,71	1,36	5,61	6,88	87,51	82,24	6,13	11,63	56,3

Sächsische Kohle (nach Stein)		Rohkohle			Aschenfrei				
		Asche	Schwefel, flüchtiger	Gesammtschwefel	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Koksausbeute
Oberhohndorf (Zwickauer Kohle)	I	2,98	1,26	1,67	83,23	5,52	0,27	10,98	61,8
„ „ „	II	0,74	0,30	1,21	83,28	4,55	0,44	11,73	47,7
„ „ „	III	8,58	1,19	2,35	83,68	3,81	0,32	12,18	68,0
Bockwa „ „	I	7,07	1,07	2,17	87,94	5,24	0,25	6,58	70,2
„ „ „	II	8,10	0,16	0,51	83,65	6,30	0,32	9,74	63,8
Planitz „ „	I	4,26	0,01	0,55	48,84	4,63	0,23	10,74	63,9
„ „ „	II	8,67	2,84	3,73	89,06	5,94	0,40	4,58	62,2
Zwickau „ „	I	8,47	1,27	2,28	90,93	5,02	0,10	3,96	66,0
„ „ „	II	3,65	0,56	0,91	82,23	4,29	0,60	12,88	84,4
„ „ „	III	7,20	1,43	1,64	82,20	3,22	0,44	14,14	70,5
„ „ „	IV	3,18	1,75	2,30	80,05	5,83	0,46	13,65	57,2
Niederwürschnitz „ „	I	2,14	1,62	1,87	83,65	6,42	0,34	9,59	66,5
„ „ „	II	8,33	2,54	2,65	81,17	4,67	0,68	13,47	69,7
„ „ „	III	9,05	—	0,81	78,65	3,56	0,12	17,67	64,8
Lugau „ „		5,70	2,40	2,76	85,83	3,59	0,21	10,37	52,6
Gückelsberg „ „		12,19	—	0,63	93,85	2,57	0,04	3,54	92,5
Flöha „ „		54,48	—	0,69	83,94	2,81	0,29	12,96	81,2
Hähnichen (Plauen'scher Grund)	I	30,77	—	1,06	87,09	4,89	0,65	7,37	65,7
„ „ „	II	6,98	1,31	2,09	82,16	3,52	0,47	13,85	68,2
Potschappel „ „	I	11,75	0,17	1,80	84,45	5,66	0,40	9,55	76,0
„ „ „	II	15,25	—	1,65	78,21	4,31	0,20	17,28	58,7
Gittersee „ „	I	9,94	0,05	0,77	81,46	5,27	0,26	13,01	69,1
„ „ „	II	36,36	0,22	2,76	77,92	5,38	0,33	16,37	76,8
Burgk „ „	I	35,42	2,99	7,88	73,43	4,28	0,24	22,05	67,0
„ „ „	II	10,86	0,46	1,30	86,98	4,91	0,48	7,63	72,5
Königliche Werke „ „	I	24,64	0,36	3,30	79,15	5,36	0,20	15,29	64,8
„ „ „ „	II	12,92	1,74	6,65	87,68	5,09	0,36	6,87	54,8

Französische Steinkohlen untersuchte besonders Scheurer-Kestner (S. 151 und 398).

Englische Steinkohlen wurden von Playfair und H. de la Beche[1]) eingehend untersucht; einen Auszug der Analysen zeigt Tabelle (S. 512). Kohlen aus Südwales untersuchte Thomas[2]):

[1]) Mechan. Magazine 1848, No. 1285; Dingl. polyt. Journ. 90, 212 u. 263. — [2]) Fischer's Jahresber. 1881, 989.

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Wasser
Rhondda-Thal	85,57	4,51	3,11		1,57	4,54	0,70
Obergorki	84,10	4,76	3,79		1,28	5,43	0,64
Oberes Flötz, Neath-Thal I	88,29	3,65	2,47		0,77	3,63	1,19
„ „ „ „ II	89,59	4,87	3,35		0,56	1,06	0,57
6-Fuß Flötz	87,85	4,67	3,77		1,07	2,00	0,64

Oberschlesische Kohle nach Grundmann	Rohkohle		Aschenfrei			
	Asche	Schwefel	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff
Königsgrube, Hoffnungsflötz	1,24	0,38	81,57	4,94	0,72	12,77
„ Gerhardsflötz	2,19	0,81	87,16	5,43	0,69	6,72
Königin Louisengrube, Schuckmannsflötz: Oberbank, ob. Lage	4,69	0,80	84,94	5,60	1,12	8,34
„ unt. „	1,62	0,66	85,79	4,99	1,10	8,12
Unterbank, ob. „	0,86	0,10	85,70	5,42	1,13	7,75
„ mittl. „	1,26	0,13	85,40	5,53	1,21	7,85
„ unt. „	1,12	0,14	82,88	5,30	0,94	10,88
Brandenburggrube bei Ruda: Oberbank	3,05	0,54	82,65	4,97	0,98	11,40
Unterbank	3,43	0,25	84,03	5,20	0,72	10,05
Orzegowgrube, 36 zöll. Niederbank	4,60	0,27	85,50	5,44	0,79	8,28
„ 10- „ Oberbank	6,43	0,49	85,03	4,96	0,54	9,47
„ 18- „ Niederbank, Oberfl.	9,49	0,71	82,87	5,44	0,73	11,02
„ 15- „ Mittelbank, „	7,71	0,50	83,27	5,65	0,93	10,75
„ 12- „ Oberbank, „	10,23	0,63	81,91	5,82	0,98	11,35
Eugenienglück, Oberbank	2,13	1,14	84,35	5,19	0,86	9,61
„ 1. Mittelbank	1,61	0,29	81,00	4,99	0,79	13,22
„ 2. „	2,16	0,29	80,97	5,43	0,90	12,70
„ Unterbank	3,03	0,27	81,09	6,50	0,75	11,66
Louisenglückgrube, Niederflötz: Schrammfirste	1,91	0,33	83,37	4,97	1,16	10,51
Schrammbank	3,11	1,04	85,65	5,15	1,18	8,02
Oberbank	3,20	0,49	84,18	4,68	1,07	10,07
Mittelbank	3,86	1,09	86,80	5,18	1,45	6,57
Unterbank	2,83	0,74	82,95	5,56	1,36	10,13
Sohlenbank	2,76	0,47	87,50	5,88	1,62	6,01
Beategrube, Oberflötz, Oberbank	2,54	0,27	85,38	5,49	1,00	8,12
„ „ Mittelbank	4,38	0,17	79,70	5,14	1,28	13,88
„ „ Unterbank	5,13	1,63	84,41	5,49	0,88	9,21
„ Niederflötz, Oberbank	3,98	0,78	80,90	5,19	1,04	12,88
„ „ Mittelbank	12,29	0,47	80,61	5,30	1,51	11,98
„ „ Unterbank	1,66	0,44	81,90	5,17	1,31	11,62

Oesterreichische Kohlen (nach Schwackhöfer)	Rohkohle			Aschenfrei			
	Wasser	Asche	Schwefel	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff
Oesterreich.							
Grünbach, Jodlhoferflötz	5,44	2,52	0,41	76,46	4,80	17,75	0,99
„ Caroliflötz	5,39	5,88	0,79	75,60	4,89	18,49	1,02
„ Antoniflötz	5,22	2,49	0,55	70,34	5,19	23,43	1,04
Böhmen.							
Kladno, Marianschacht, Würfel	11,08	5,99	0,53	78,52	4,91	15,65	0,92
„ „ Kleinkohle	11,45	17,11	1,10	77,78	4,81	16,30	1,11
„ Pruhonschacht, Würfel	12,24	9,84	0,72	80,28	4,66	14,00	1,06
„ „ Förderkohle	11,22	18,68	0,46	80,35	4,54	13,94	1,17
„ Barréschacht, „	8,07	14,61	0,77	81,43	4,48	12,77	1,32
Libusin (Schlan), Förderkohle	14,27	9,35	0,69	80,11	4,53	14,06	1,30
Schlan	18,92	13,91	0,92	73,89	5,02	19,36	1,73
Pilsener Becken, Radnic	12,02	12,86	1,85	76,92	4,57	17,38	1,13
„ „ Tremosna, Stück	11,47	6,48	0,69	82,08	5,02	11,70	1,20
„ „ „ Nuß	10,48	7,06	0,60	80,98	4,77	13,16	1,09
„ „ Littitz, Würfel	5,82	16,02	0,93	82,01	5,09	11,85	1,05
„ „ „ Nuß	6,45	11,88	0,85	80,99	5,03	12,91	1,07
„ „ Miröschau	8,02	11,34	1,13	79,68	4,86	14,00	1,46
„ „ Nürschau, Pankrazzeche, Würfel	8,82	7,56	0,47	82,51	4,71	11,72	1,06
„ „ Mantau, Austriaschacht	7,50	15,49	1,07	80,88	4,80	12,99	1,33
Nordöstliches Böhmen, Schatzlar	3,98	24,01	1,29	79,79	4,86	14,21	1,14
„ „ Qualisch	6,14	22,92	1,57	78,99	4,78	14,47	1,76
Mähren.							
Rossitz, Ferdinandschacht	1,07	23,90	1,96	86,45	4,71	7,93	0,91
„ Juliusschacht	1,59	14,59	1,85	87,80	4,82	6,47	0,91
„ Simonschacht	1,42	16,55	2,94	86,52	4,36	7,57	1,55
„ Zbeschau	3,38	15,42	2,96	85,68	4,31	8,39	1,62
Mährisch-Ostrau, Carolinengrube	6,24	8,96	1,04	79,48	4,61	14,79	1,12
„ „ Hermenegildgrube	3,19	11,94	0,39	81,04	4,67	13,06	1,23
„ „ Gutmann, Förderk.	2,68	10,67	0,66	82,95	4,83	11,36	0,86
Schlesien.							
Polnisch-Ostrau, Wilczek	3,25	9,57	0,80	82,55	4,71	12,05	0,89
„ „ Zwierzina	3,03	9,92	0,68	82,72	4,81	11,38	1,09
„ „ Heinrichglückzeche	2,75	6,30	2,50	77,82	5,08	15,92	1,18
Orlau-Lazy, Carl	3,59	4,59	0,34	81,82	4,49	12,92	0,77
Poremba	6,41	9,86	1,00	77,88	4,82	15,30	1,05
Karwin, Würfelkohle	3,16	3,53	0,69	83,18	4,85	10,82	1,15
Ungarn.							
Fünfkirchen, Förderkohle	3,30	22,45	2,75	82,86	4,60	11,70	0,84

Oesterreichische Kohlen	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Wasser	
Eibenberger a. d. Pielach	68,64	4,90	9,22		2,02	14,71	0,51	Horn (Fischer's Jahresb. 1893, 7).
Schindelecker (Nieder-Oesterreich)	62,06	3,93	11,19		2,64	19,38	0,80	
Tremoschna	51,97	3,22	0,48	9,33	—	12,78	22,22	Nevole (Fischer's Jahresb. 1888, 2).
Fürstenstein	68,03	4,38	0,38	9,08	—	11,83	6,30	
Ostrau	71,93	4,82	0,70	8,62	—	9,71	4,22	
Kladno	58,36	3,65	0,45	9,67	—	15,50	12,37	
Ostrau	78,70	4,50	10,40		—	4,40	2,00	John und Foullon (Jahrb. der Reichsanstalt, Wien 1886, 331).
Hermsdorf	78,54	4,50	9,21		—	1,30	6,45	
Schadowitz, Sedlowitz	80,50	3,55	11,59		0,37	0,16	3,83	
„ Idastollen	75,00	3,99	12,42		1,12	0,23	7,24	
„ Budaschin	73,01	4,24	11,81		1,10	0,30	9,54	
Dobrau	78,10	4,65	11,08		1,26	2,90	2,01	
Mustapic	82,61	3,99	6,48		—	0,95	5,96	Losanitsch (Fischer's Jahresb. 1888, 3).
Ostpaonica	76,40	3,73	4,80		—	1,34	13,73	
Szekul, Ungarn 1. Flötz	66,58	4,64	1,61	13,59	0,79	11,94	0,86	Berg- u. Hütten-Ztg. 1884, 536.
Szekul, Ungarn 2. „	72,51	4,78	1,59	10,53	0,85	8,80	0,94	
Szekul, Ungarn 3. „ hängend	60,37	4,68	1,64	13,55	0,52	18,75	0,49	
Szekul, Ungarn 3. „ liegend	39,46	2,96	1,57	9,22	0,55	45,64	0,60	
Szekul, Ungarn 4. „	69,85	4,96	1,63	15,37	1,48	6,02	0,69	
Siebenbürgen, Zsilthal	75,00	5,00	1,20	8,80	0,50	9,50	—	Talatschek (Oesterr. Zft. 1880, 2817).

Englische Kohlen	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Koksausbeute
Wales.							
Duffryn	88,26	4,66	1,45	0,60	1,77	3,26	84,3
Nixons Merthyr	90,27	4,12	0,63	2,53	1,20	1,25	79,1
Machen Rock Vein	71,08	4,88	0,95	17,87	1,37	3,85	65,2
Abercarn	81,26	6,31	0,77	9,76	1,86	2,04	68,4
Graigola	84,87	3,84	0,41	7,19	0,45	3,24	85,5
Tree Quarter Rock Vein	75,15	4,93	1,07	5,04	2,85	10,96	62,5
Brymbo Main	77,87	5,09	0,57	9,52	2,73	4,22	55,4
Mittel aus 36 Proben	83,78	4,79	0,98	4,15	1,43	4,91	72,6
Newcastle.							
Haswell, Walsend	83,47	6,68	1,42	8,17	0,06	0,20	62,7
Willington	86,81	4,96	1,05	5,22	0,88	1,08	72,2
Newcastle, Hartley	81,81	5,50	1,28	2,58	1,69	7,14	64,6
Hedley's "	80,26	5,28	1,16	2,40	1,78	9,12	72,3
West Hartley Main	81,85	5,29	1,69	7,53	1,13	2,51	59,2
Broomhill	81,70	6,17	1,84	4,37	2,85	3,07	59,2
Mittel aus 18 Proben	82,12	5,31	1,35	5,69	9,24	3,77	60,7
Lancashire.							
Ince Hall, Pemberton	68,72	4,76	1,20	18,63	1,35	14,34	56,5
" " " Yard	80,78	6,23	1,30	7,53	1,82	2,34	60,6
Balcarras, Lindsay	83,90	5,66	1,40	5,53	1,51	2,00	57,8
Cadwell and Thomson Higher Delf	75,40	4,83	1,41	19,98	2,43	5,95	54,2
Wigan	78,86	5,29	0,86	9,57	1,19	4,23	60,0
Blackbrook Little Delf	82,70	5,55	1,48	4,89	1,07	4,31	58,5
Haydock, Higger	77,33	5,56	1,01	12,02	1,03	3,05	51,1
Moß Hall	75,53	4,82	2,05	7,98	3,04	6,58	55,7
Mittel aus 28 Analysen	77,90	5,32	1,30	9,53	1,44	4,88	60,2
Schottland.							
Wellewood	81,36	6,28	1,53	6,37	1,57	2,89	59,2
Walsend Elgin	76,09	5,22	1,41	5,05	1,53	10,70	58,5
Dalkeith Coronation	76,94	5,20	Sp.	14,37	0,38	3,10	53,5
Killmarnok	79,82	5,82	0,94	11,31	0,86	1,25	49,3
Mittel aus 8 Proben	78,53	5,61	1,00	9,69	1,11	4,03	54,2
Derbyshire.							
Loscoe Soft	77,49	4,86	1,64	12,41	1,30	2,30	52,8
Fitzwilliams Esecar	81,93	4,85	1,27	8,58	0,91	2,46	61,6
Butterly Co's Langley	77,97	5,58	0,80	9,86	1,14	4,65	54,9
Mittel aus 7 Analysen	79,68	4,94	1,41	10,28	1,01	2,65	59,3

Folgende Analysen besserer englischer Steinkohlen stellt Pechar (a. a. O. S. 20) zusammen:

	Trockene Kohle						Aschenfrei				Analytiker
	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Schwefel	Asche	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	
Stückkohle. von Westhartley (Norden)	84,53	5,70	5,05	1,29	0,08	3,35	87,54	5,90	5,23	1,33	Grundmann[1])
Beste Kohle von Newcastle (Norden) .	84,31	5,09	7,24	1,49	0,13	1,73	85,92	5,18	7,38	1,51	„
Cannelkohle von Newcastle (Norden) .	86,17	5,81	3,71	1,14	0,07	3,11	88,99	6,00	3,83	1,18	„
Seaton-Dampfkesselkohle (Norden) .	78,65	4,65	14,21	—	0,55	2,49	80,54	4,76	14,70	—	Dick
Low-Main-Flötzkohle (Norden) . . .	78,69	6,00	10,07	2,37	1,51	1,36	81,01	6,17	10,38	2,44	Taylor
Nußkohle von Sunderland (Norden) .	74,94	5,12	5,15	1,33	0,77	12,66	86,59	5,98	5,95	1,54	Grundmann
Schmiedekohle (Norden)	82,72	5,24	6,35	1,49	0,26	3,95	86,35	5,47	6,61	1,57	„
Nußkohle von Hartlepool (Norden) .	74,75	4,90	10,72	1,14	0,75	7,74	81,69	5,36	11,74	1,21	„
Maschinenkohle von Grimsby (Süd-Wales)	82,26	5,73	7,41	1,34	0,17	3,08	85,02	5,93	7,66	1,39	„
Ellveinkohle (Süd-Wales)	82,56	5,36	8,22	1,65	0,75	1,46	84,92	5,48	8,40	1,70	Road
Kohle von Dowlais (Süd-Wales) . .	89,33	4,43	3,25	1,24	0,55	1,20	90,93	4,51	3,30	1,26	Riley
Kohle von Wolverhampton (Staffordshire)	78,57	5,29	12,88	1,84	0,39	1,03	79,88	5,34	13,02	—	Baux
Wigan Cannelkohle (Lancashire) . .	84,07	5,71	7,82	—	—	2,40	85,81	5,85	8,34	—	Regnault
Kohle von Ayrshire (Schottland) . .	76,08	5,31	13,33	2,09	1,23	1,96	78,59	5,49	13,77	2,15	Rowney
Splintkohle aus den Elgingruben (Schottland)	80,63	6,16	10,61	1,77	0,84	1,43	82,50	5,28	10,68	1,36	„
Bogheadkohle	61,04	9,22	4,40	0,33	0,32	24,23	80,90	12,48	5,60	1,02	Matter

[1]) Vergl. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 9, 360; 10, 333; 12, 175.

W. Thomson[1]) gibt folgende Zusammenstellung:

	Nixons Navigation Collieries, Glam	Thakerley Collieries Tyldesley	Tyldesley Coal Co.	Upper Drumgray Seam			Bickershaw Collieries, Leigh, near Manchester					Pendleton 4 ft.
				Bottom of Seam	Hard Midrib	Top of Seam	Bickershaw Main	Pemberton 5 ft.	Crombourke	Wigan 4 ft.	Bickershaw 7 ft.	
Verkokung:												
Flüchtige Stoffe	11,722	30,103	32,085	25,633	24,264	27,553	29,809	32,287	31,666	28,314	31,228	28,527
Sog. fixer Kohlenstoff	84,046	50,276	57,755	65,037	60,899	64,629	63,870	56,464	57,871	64,099	61,212	65,661
Elementaranalyse:												
Kohlenstoff	88,029	68,134	74,464	75,484	72,130	75,049	78,930	72,409	69,774	76,487	73,913	79,760
Wasserstoff	4,112	4,777	5,105	4,982	4,672	5,123	4,904	5,158	4,819	4,964	4,858	4,893
Sauerstoff	1,977	4,861	8,251	7,865	6,565	9,391	7,239	8,844	12,445	8,458	11,320	7,517
Stickstoff	0,961	1,218	1,528	1,590	1,253	1,757	1,565	1,408	1,333	1,437	1,668	1,429
Schwefel	0,689	3,389	0,492	0,749	0,543	0,862	1,041	0,932	1,166	1,067	0,681	0,589
Asche	3,216	14,902	4,086	6,549	12,576	4,286	1,961	4,550	3,313	1,749	0,960	1,912
Wasser	1,016	4,719	6,074	2,781	2,261	3,532	4,360	6,699	7,150	4,838	6,600	3,900
Auf. der Kohlensubstanz:												
Kohlenstoff	92,585	86,257	83,342	83,945	85,240	82,182	85,203	82,453	78,956	83,733	80,551	85,215
Wasserstoff	4,325	6,047	5,713	5,541	5,521	5,610	5,294	5,873	5,453	5,434	5,294	5,227
Stickstoff	1,011	1,542	1,710	1,768	1,481	1,924	1,689	1,603	1,508	1,574	1,818	1,527
Sauerstoff	2,079	6,154	9,235	8,746	7,758	10,284	7,814	10,071	14,083	9,259	12,337	8,031
Brennwerth[2]), gefunden	8340	6448	7069	7384	6954	7533	7465	7242	7456	7552	7417	7736
„ berechnet	8459	6972	7430	7498	7166	7443	7778	7267	6787	7549	7176	7819

[1]) Journ. Soc. Chem. Ind. 1889, 525. — [2]) Vgl. Fischer's Jahresber. 1886, 1050; 1889, 9.

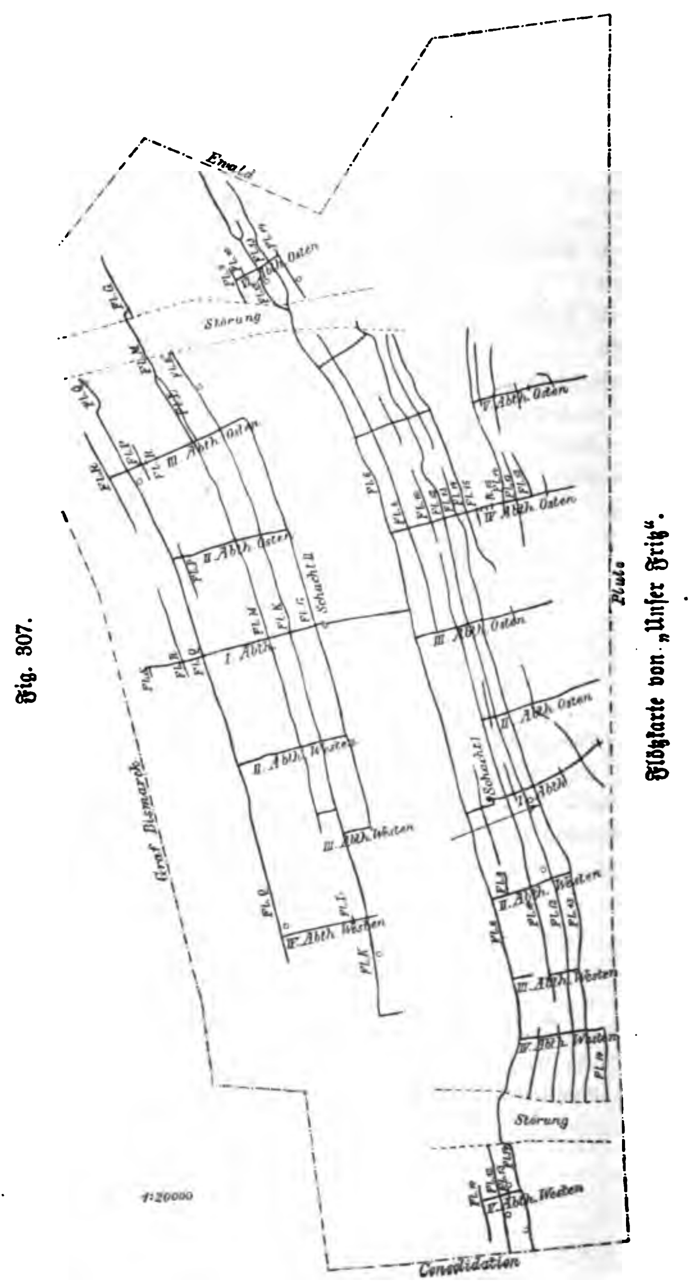
Russische Kohlen		Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Wasser	
	Tkwibuli, Kaukasus[1]) I	45,46	5,25	0,87	19,75	1,11	7,60	8,92	Syrkin (Bergh. Ztg. 1892, 428).
	„ „ II	78,42	5,13	1,04	14,09	1,32	—		
Südrußland	Roubejnoé, Splintkohle	71,02	5,02		17,51	2,90	4,00	trocken	Hagemans (Fischer's Jahresb. 1887, 17).
	„ Flötz 7	75,35	5,12		16,48	0,85	2,20		
	Lissitchansk	66,26	4,32		14,37	3,82	11,23		
	Serbinovka	73,60	5,27		16,61	0,17	4,36		
	Golonovka, Tiefe 34 m	78,50	4,07		15,44	0,58	1,40		
	„ „ 28 m	75,40	3,87		15,53	0,33	5,40		
	Onspensk	72,28	3,46		20,06	0,70	3,50		
	Mikhailovsky	74,69	5,43		16,87	0,15	2,86		
	Orckhovsky	76,93	4,95		13,59	1,53	3,00		
	Lomowatka	78,40	3,48		12,61	1,22	4,28		
	Petrowsk	76,57	3,40		8,56	2,54	8,93		
	Sangarowka	83,01	3,70		11,27	0,62	2,02		
	Bogodonkow	83,65	4,41		9,44	Sp.	2,50		
	Nihitowsk	69,07	4,60		10,00	5,60	8 10	2,60	Zinken (Bergh. Ztg. 1880, 429).
	Podnikitowsk	79,40	5,50		7,15	2,90	4,40	0,60	
	Anatoliewsk	77,40	5,40		6,90	3,80	5,60	0,80	
	Andreewsk	68,52	4,77		7,75	1,35	16,30	1,30	
	Koutschenkowo, Südrußland	81,52	4,81		12,94	0,74	0,73	1,70	Alexejew (vgl. S. 405).

[1]) Analyse stimmt nicht. F.

Amerika, Asien u. a.		Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Wasser	
Colorado Cy. Denver	Walsen Mine	72,16	4,81	1,31	9,55	—	8,60	2,97	Chicagoer Ausstellung.
	Roux Mine, Huertfano Cy.	68,17	4,82	0,80	12,60	0,72	10,45	2,48	
	Newcastle Mine, Garfield Cy.	69,61	3,94	1,48	10,11	0,53	12,00	2,58	
	Berwind Mine, Las Animas Cy.	74,22	5,44	1,46	7,30	0,59	4,75	1,24	
	Eagle Wille Mines, Las Animas Cy.	74,63	4,66	0,47	7,89	0,55	11,05	0,75	
	Crested Butte, Gunnison Cy.	74,70	5,23	1,72	11,49	0,55	4,00	2,66	
	Sopris Mine, Las Animas Cy.	78,85	5,46	0,99	4,48	0,60	8,90	0,52	
	Picton Mine, Huertfano Cy.	72,30	5,38	1,29	12,31	0,60	5,05	3,27	
	Robinson Mine, Huertfano Cy.	73,20	5,27	1,36	11,33	0,67	5,55	2,62	
	Santa Clara Mine, Huertfano Cy.	67,36	5,67	1,21	8,58	0,40	14,40	1,08	
	Coal Creeck Mine, Fremont Cy.	69,49	4,73	1,35	12,97	—	4,00	7,26	
Pennsylvanien	First Pool Mine	78,36	4,61	1,10	9,40	1,15	5,38	—	Chicagoer Ausstellung.
	Shaner Mine	80,10	4,35	1,08	8,41	0,65	5,40	—	
	Jumbo Mine	76,60	4,46	1,05	10,22	1,30	6,35	—	
Chili	Conceptions Bay	70,55	5,76	0,95	13,24	1,98	7,52	—	Plaifair u. H. de la Beche (Pol. Journ. 90, 2.. und Grundmann (Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 9, 360; 10, 333; 1, 175).
	Port Famine	64,18	5,33	0,50	22,75	1,03	6,21	—	
	Chirique	38,98	4,01	0,58	13,38	6,14	36,91	—	
	Laredo Bay	58,67	5,52	0,71	17,33	1,14	16,63	—	
	Talcahuano Bay	70,71	6,44	1,08	13,95	0,94	6,92	—	
	Colcurra Bay	78,30	5,50	1,09	8,37	1,06	5,68	—	
Patagonien, Sandy Bay	I	62,25	5,05	0,63	17,54	1,13	18,40	—	
„ „ „	II	59,63	5,68	0,63	17,45	0,96	15,64	—	
Sydney		82,39	5,32	1,23	8,32	0,70	2,04	—	
Borneo	I	64,52	4,47	0,80	20,75	1,45	7,74	—	
„	II	54,31	5,03	0,98	24,22	1,14	14,32	—	
„	III	70,33	5,41	0,67	19,19	1,17	3,23	—	
Van Diemens Land	Südcap	63,40	2,89	1,27	1,01	0,98	30,45	—	
	Tingal	57,21	3,38	1,20	7,80	1,32	29,09	—	
	Ostküste, Douglas-Fluß	70,44	4,20	1,11	9,27	0,70	14,38	—	
	Whale's Head	65,86	3,18	1,12	7,20	1,14	8,67	—	
	Tasman's Halbinsel	65,54	3,36	1,91	1,75	1,03	26,41	—	
	Schonten Insel	64,01	3,55	0,94	3,38	0,85	27,17	—	
Japan	Storachi, Insel Yesso	77,00	5,70	11,00		0,60	2,80	2,90	Pariser Ausstellung 1878 nach Pechar.
	Karatsu	69,40	5,20	11,90		1,20	1,60	2,70	
	Takaschina	78,60	5,80	8,70		0,70	4,90	1,30	
	Miike, Gaskohle	69,30	5,50	4,90		3,50	16,30	0,50	
China	Tai-chic, Proc. Shansi I	85,71	4,35	0,98	3,66	0,51	4,80	0,80	Häußermann u. Naschold (Zeitschr f. ang. Ch. 1894, 26..)
	Lao-lung-K'on, Prov. Hunan II	89,82	2,38	0,72	3,94	0,24	2,90	2,00	
	Kua-t'on-k'u, Prov. Shansi III	86,18	3,43	1,08	4,11	0,80	4,40	1,55	
	Tang-shan IV	82,56	5,00	1,19	6,93	0,50	3,82	0,57	
Cap der guten Hoffnung		61,02	3,21	2,19	2,18	0,45	30,88	0,07	North (Ann. Mines 12, 542)

Anthracite	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel	Asche	Wasser	
förderkohlen	75,41	1,51	0,42	1,82	4,14	16,70	—	F. Fischer,
lußkohlen	85,45	1,48	2,77		3,11	7,19	—	Bergakad. (Gastechn. 1885, 200).
jajestollen, weiche Stückkohlen	86,92	1,83	1,66		2,08	3,73	3,87	Kämper 1863.
„ harte „	84,95	1,90	0,59		3,72	5,40	3,44	
„ weiche Brocken . .	80,33	1,68	1,55		3,88	8,79	3,77	
„ harte „ . .	74,52	1,66	0,58		5,61	14,35	3,28	
„ Förderkohlen . .	71,65	1,56	0,93		6,09	16,32	3,45	
echtingerstollen, weiche Brocken	81,75	1,86	0,00		3,98	8,56	3,85	
reibänke, Mittelbank . . .	85,34	3,25	2,21		5,30	9,20	—	Daub 1877.
„ Unterbank . . .	74,61	1,95	3,83		8,60	19,61	—	
lsberg, Sachsen	82,42	2,66	0,03	10,38	0,19	4,32	—	Stein (vergl.
nfeld, „	61,47	1,34	0,06	7,91	0,29	28,84	—	S. 503).
lia bei Genua	72,46	0,80	1,51		0,23	21,50	3,50	John (Z. angew. 1893, 285).
lonticats	91,16	3,11	0,91	2,74	0,86	1,12	—	Lecornu (Ann.
imber Flötz	93,00	3,08	0,54	1,67	0,68	1,03	—	d. Min. 14, 319).
ones u. Co.	91,44	3,46	0,21	2,58	0,79	1,52	—	Dingl. 90, 212.
embrokeshire { Lowerflötz .	94,18	2,99	0,50	0,76	0,59	0,93	—	C. H. Perkins
(reine Stücke) { Kilgettyflötz .	93,27	2,72	0,18	2,47	0,15	1,21	—	(Engineering
igflötz, Amanthal	92,56	2,11	4,68		0,12	0,43	0,11	1880, II, 261).
kraßflötz, Swanseathal . . .	91,11	3,58	3,24		0,59	1,51	—	
ixon's Merthyr	90,27	4,12	0,63	2,53	1,20	1,25	—	
jablé	87,22	2,49	3,39		—	6,90	—	Jacquelin.
ſère	94,00	1,49	0,85		—	4,00	—	
Rayenne	91,45	4,18	2,12		—	2,25	—	Regnault (aus
amure	89,77	1,67	3,99		—	4,57	—	Knapp).
Racot	71,49	0,92	8,12		—	26,47	—	
rilo, Denver, Ruby Mine .	87,56	3,11	0,13	2,69	0,89	4,15	0,72	Fischer's Jahresb.
„ Anthrazite Mine	89,45	3,33	0,66	1,19	0,78	4,00	0,59	1893, 181.
Pennsylvanien	86,91	2,80	3,89		0,43	5,97	—	Schulze (Dingl. 245, 81).

Fig. 307.



Flözkarte von „Unser Fritz“.

Analysen russischer Steinkohlen zeigt die Tabelle S. 515, amerikanischer u. a. Kohlen die Tabelle S. 516. Die meisten Untersuchungen amerikanischer und sonstiger ausländischer Kohlen beschränken sich leider auf Wasser, Koksprobe, Asche und Schwefel, deren Wiedergabe nicht lohnt. Tabelle S. 517 zeigt Analysen verschiedener Anthracite.

Um die Schwankungen in der Zusammensetzung der Kohlen einer Grube kennen zu lernen, untersuchte der Verf.[1]) mit Dr. Guericke 24 Kohlenproben der Zeche „Unser Fritz“. Fig. 307 zeigt die Flötzkarte. Der Schwefel wurde durch Verbrennen im Sauerstoffstrom bestimmt. Zur Bestimmung des Stickstoffes wurde etwa 1 g der Probe mit 20 ccm Schwefelsäure unter Zusatz von 8 bis 10 g krystallisirtem Kaliumsulfat in bekannter Weise gekocht. Nach etwa zwei Stunden ist die Zersetzung beendet, so daß nach Zusatz von Natronlauge das gebildete Ammoniak abdestillirt werden konnte.

Folgende Tabellen zeigen das Ergebniß der Analysen. Der Kohlenstoffgehalt der aus Schacht I geförderten Kohle schwankt daher von 76,3 (Anal. 9) bis 83,2 Proc. (Anal. 14), der aus Schacht II von 74,5 (Anal. 19) bis 83,1 Proc. (Anal. 20), berechnet auf wasserfreie Kohle.

				Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Schwefel, flüchtig	Asche
1	II. Flötz K. IV, Westen.	II. Sohle,	Oberbank	80,13	4,98	1,35	10,57	0,83	2,14
2	II. Flötz K. III, Osten.	II. Sohle,	Unterbank	78,01	4,85	1,26	10,94	0,91	4,03
3	II. Flötz Q. III, Osten.	II. Sohle,	Oberbank	80,03	4,96	1,59	9,77	0,98	2,67
4	Desgl.		Unterbank	77,70	4,67	1,34	11,18	1,86	3,25
5	II. Flötz Q. IV, Westen.	II. Sohle,	Oberbank	80,14	4,81	1,15	11,23	0,62	2,05
6	Desgl.		Unterbank	77,57	4,75	1,24	12,57	0,70	3,17
7	II. Flötz 14. V, Osten.	II. Sohle,	Oberbank	81,83	4,88	1,48	9,80	0,91	1,10
8	Desgl.		Unterbank	81,44	4,88	1,42	8,54	0,85	2,87
9	I. Flötz 14. V, Westen.	II. Sohle,	Oberbank	76,30	4,39	1,69	8,15	1,42	8,05
10	Desgl.		Unterbank	79,59	4,74	1,58	8,49	0,69	4,91
11	I. Flötz 13. V, Westen.	II. Sohle,	Oberbank	82,74	4,81	1,68	8,17	0,54	2,06
12	Desgl.		Unterbank	81,34	4,86	1,56	8,95	0,86	2,43
13	I. Flötz 12. II, Westen.	III. Sohle,	Oberbank	83,09	4,68	1,43	9,14	0,51	1,15
14	Desgl.		Mittelbank	83,15	4,84	1,32	8,74	0,42	1,53
15	Desgl.		Unterbank	78,88	4,70	1,27	8,80	1,98	4,37
16	I. Flötz 12. V, Westen.	II. Sohle,	Oberbank	81,67	4,47	1,30	8,57	0,83	3,16
17	Desgl.		Mittelbank	80,57	4,94	1,65	8,77	1,08	2,99
18	Desgl.		Unterbank	79,05	4,82	1,38	7,39	1,63	5,73
19	II. Flötz 12. VI, Osten.	II. Sohle,	Oberbank	74,47	4,37	1,22	8,77	3,29	7,88
20	Desgl.		Mittelbank	83,08	4,95	1,48	7,97	0,77	1,75
21	Desgl.		Unterbank	81,20	5,03	1,34	9,29	0,98	2,16
22	I. Flötz 12. I,	II. Sohle,	Oberbank	81,52	4,68	1,29	9,25	0,62	2,64
23	Desgl.		Mittelbank	81,72	4,78	1,33	9,70	0,42	2,05
24	Desgl.		Unterbank	80,64	4,53	1,35	9,23	1,15	3,10

[1]) Fischer's Jahresber. 1894, 5.

Laufende Nr.	Schacht	Flötz		Asche	Schwefel, flüchtig	Asche und schwefelfreie Kohle.						
						Proc. Zusammensetzung				Auf 100 Atome C kommen Atome		
						Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Sauerstoff	H	N	O
1	II	K. IV,	O	2,14	0,83	82,58	5,13	1,39	10,90	74,6	1,4	9,9
2	II	K. III,	U	4,03	0,91	82,08	5,10	1,33	11,49	74,6	1,4	10,5
3	II	Q. III,	O	2,67	0,98	83,06	5,15	1,65	10,14	74,4	1,7	9,2
4			U	3,25	1,86	81,88	4,92	1,41	11,79	72,1	1,5	10,8
5	II	Q. IV,	O	2,05	0,62	82,34	4,94	1,18	11,54	72,0	1,2	10,5
6			U	3,17	0,70	80,69	4,94	1,29	13,08	73,5	1,4	12,2
7	II	14.	O	1,10	0,91	83,52	4,98	1,51	9,99	71,6	1,6	9,0
8			U	2,87	0,85	84,59	5,07	1,47	8,87	71,9	1,5	7,9
9	I	14.	O	8,02	1,42	84,28	4,85	1,87	9,00	69,0	1,9	8,0
10			U	4,91	0,69	84,31	5,02	1,67	9,00	71,5	1,7	8,0
11	I	13.	O	2,06	0,54	84,95	4,94	1,72	8,39	69,8	1,7	7,4
12			U	2,43	0,86	84,11	5,03	1,61	9,25	71,7	1,6	8,3
13	I	12. II,	O	1,15	0,51	84,50	4,76	1,45	9,29	67,6	1,5	8,2
14			M	1,53	0,42	84,81	4,94	1,35	8,90	69,8	1,4	7,9
15			U	4,37	1,98	84,24	5,02	1,36	9,38	71,5	1,4	8,4
16	I	12. V,	O	3,16	0,83	85,06	4,66	1,35	8,93	65,7	1,4	7,9
17			M	2,99	1,08	83,99	5,15	1,72	9,14	73,6	1,8	8,2
18			U	5,73	1,63.	85,33	5,20	1,49	7,98	73,2	1,5	7,0
19	II	12. VI,	O	7,88	3,29	83,83	4,92	1,37	9,88	70,4	1,4	8,8
20			M	1,75	0,77	85,23	5,08	1,52	8,17	71,5	1,5	7,2
21			U	2,16	0,98	83,83	5,19	1,38	9,60	74,3	1,4	8,6
22	I	12. I,	O	2,64	0,62	84,27	4,84	1,33	9,56	68,9	1,4	8,5
23			M	2,05	0,42	83,79	4,90	1,36	9,95	70,2	1,4	8,9
24			U	3,10	1,15	84,22	4,73	1,41	9,64	67,4	1,4	8,6

Vorstehende Tabelle zeigt den Gehalt der Rohkohle an Asche und Schwefel (flüchtigen), die übrigen Bestandtheile auf Reinkohle berechnet. Obgleich ein Theil dieses Schwefels zweifellos organisch gebunden, somit Bestandtheil der Reinkohle ist, wurde der Schwefel hier nicht mitgerechnet, da die Menge des organisch gebundenen Schwefels noch nicht genau zu bestimmen ist. Die von den meisten Analytikern ausschließliche Bestimmung des Gesammtschwefels (nach Eschka u. s. w.) führt zu falschen Schlüssen, da durch Nichtberücksichtigung des in der Asche bleibenden Schwefels die Zahlen für Sauerstoff zu niedrig erscheinen.

Für beide Schächte ergeben sich daher folgende Grenzwerthe:

		I			II	
Asche	1,2	bis	8,0 Proc.	1,1	bis	7,9 Proc.
Schwefel, flüchtig	0,4	„	2,4 „	0,6	„	3,3 „
Reinkohle: Kohlenstoff	83,8	„	85,3 „	80,7	„	85,2 „
Reinkohle: Wasserstoff	4,7	„	5,2 „	4,9	„	5,2 „
Reinkohle: Stickstoff	1,3	„	1,9 „	1,3	„	1,7 „
Reinkohle: Sauerstoff	8,0	„	10,0 „	8,2	„	13,1 „

Selbst die Kohlensubstanz desselben Flötzes ist nicht gleich zusammengesetzt (z. B. Anal. 17 und 18); solche gewaltige Schwankungen, wie sie Stein (S. 503) beobachtete, werden aber wohl selten vorkommen.

Es ergibt sich daraus ferner, daß die Kohlen der mit Buchstaben bezeichneten Flötze verhältnißmäßig sauerstoffreicher sind als die der übrigen. Dabei ist zu beachten, daß das Hangende der Grube größtentheils aus Schieferthon besteht (welcher von Bergleuten als „sehr faul“ bezeichnet wird), zum kleineren Theile aus Sandstein. Daß hier eine nachträgliche Oxydation stattgefunden hätte, ist nicht anzunehmen, da die Kohle wenig geneigt ist, Sauerstoff aufzunehmen. Die Proben 22 bis 24 sind sämmtlich einer Stelle entnommen (durch einen Pfeil bezeichnet), welche seit dem Jahre 1878 dem Wetterzuge ausgesetzt war, und doch zeigte die Analyse keine nennenswerthe Abweichung in der Zusammensetzung, so daß die Oxydation von Wasserstoff und Schwefel, sowie auch die Aufnahme von Sauerstoff nur ungemein gering sein kann. —

Nachfolgende Analysen westfälischer sogen. Eßkohlen verglichen mit Nixon's Steam Navigation coal, welche in der deutschen und englischen Marine als Normalkohle bei Ermittelungen über die Leistung der Schiffe und Maschinen verwendet wird, wurden im Laboratorium der Bergakademie zu Berlin ausgeführt[1]):

	Asche	Schwefel	Wasser- und aschenfrei: C	H	O + N	Koksausbeute aschenfrei
Nixon's Steam Navigation coal	2,78	0,10	92,71	4,26	3,03	90,3
Zeche Ringeltaube bei Annen. Flötz II	1,56	0,18	91,14	4,87	3,99	85,0
Zeche Ringeltaube bei Annen. Flötz III. Dritte Tiefbausohle	1,54	0,24	90,57	4,46	4,97	88,2
Zeche Ver. Hamburg bei Annen. Flötz III. Dritte Tiefbausohle	1,45	0,29	90,28	4,27	5,44	87,5
Nachtigall-Tiefbau bei Bommern. Flötz II	0,82	0,65	91,75	4,78	3,46	85,4
Zeche Ver. Hamburg bei Annen, Mittelpacken aus dem Muldenstück der Wittener Mulde	4,43	0,68	89,51	4,84	6,15	85,5
Zeche Bickefeld	3,94	1,45	91,99	4,27	3,74	86,4

[1]) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 25, 75.

Cannelkohle (Parrotkohle) brennt an der Flamme entzündet wie ein Licht (candle); wegen ihres hohen Wasserstoffgehaltes gibt sie hohe Gasausbeute. Sie hat meist ein festes gleichmäßiges Gefüge und muscheligen Bruch. Sog. Stellarit wirft beim Brennen Funken aus. Eine Abart der Cannelkohle ist die Bogheadkohle[1]), welche besonders bei Torban-Hill bei Bathgate (Edinburg) vorkommt, und besonders als Gaskohle verwendet wird. Penny fand in der Bogheadkohle:

Kohlenstoff	81,16	aschenfrei
Wasserstoff	11,24	
Stickstoff	1,22	
Sauerstoff	5,97	
Schwefel	0,41	
Asche	21,22	

Bogheadkohle von Resiutta enthält nach Buchner[2]) 50 Proc. Asche. C. Zinken[3]) giebt folgende Analysen von Cannel- und Bogheadkohle:

	C	H	O	N	S	Asche	Beobachter
Schottische Bogheadkohle . . .	61,04	9,22	4,40	0,77	3,25	24,23	Mathes
Cannelkohle von Wigan . . .	80,07	5,53	8,10	2,12	1,50	2,70	Baur
„ „ „ . . .	84,07	5,71	7,82	—	—	2,40	„
„ „ Newcastle . .	86,17	5,81	3,71	1,14	0,07	3,11	„
„ „ Breckenridge .	68,13	6,49	2,99	2,27	2,47	12,13	Peters
Torbanit von Torban-Hill . .	66,00	8,58	5,83	0,55	0,70	21,18	How
(Torban mineral) von Torban-Hill	64,02	8,90	5,66	0,55	0,50	20,82	Anderson
(Torban mineral) von Torban-Hill	80,39	11,19	7,11	1,30	—	—	„
Bathvillit im Torbanit . . .	58,89	8,56	7,23	—	—	25,52	„
Im Carbon von Bathville in Schottland, Stellarit in der Grafschaft Pictou, Canada .	80,96	10,15	0,68	5,58	—	8,21	How

Analysen von in deutschen Gaswerken verwendeten Zusatzkohlen ergaben nach Bunte[4]):

---

[1]) Jahresber. d. chem. Technol. 1859, 685; 1860, 574; 1861, 660; 1866, 797; 1879, 1170; 1890, 108. — [2]) Fischer's Jahresber. 1881, 986. — [3]) Ebend. 1881, 989; Berg- und Hüttenm. Ztg. 1881, 230, 242; 1882, 237; vgl. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenk. 1888, 183. — [4]) Fischer's Jahresber. 1890, 106.

Herkunft und Gaswerk, welches die Kohle verwendet	Elementare Zusammensetzung									Verkokung	
	100 Thle. Rohkohle enthalten							100 Thle. Reinkohle enthalten		Rohkohle	Reinkohle
	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Schwefel	Stickstoff	Wasser bei 110°	Asche	Kohlenstoff	Wasserstoff	Koks	Koks
Deutsche Zusatz-Kohlen											
Consolidation Cannel (Karlsruhe)	80,88	5,70	5,62	1,23	1,27	0	5,30	85,41	6,02	60,60	58,39
Böhmische Plattelkohle, Würfel (München)	59,96	5,56	7,93	1,08	1,00	3,33	21,24	79,38	7,36	52,13	40,90
Böhmische Plattelkohle, Stücke (München)	60,07	5,66	7,76	1,16	1,16	3,04	21,15	79,24	7,46	51,99	40,68
Böhmische Braunkohle (Falkenau), (Karlsruhe)	63,50	6,38	8,41	3,12	0,41	10,75	7,48	77,61	7,80	31,68	29,64
Ausländische Zusatz-Kohlen											
Tyne Boghead Cannel (Darmstadt)	73,09	5,73	5,66	0,67	1,29	0,15	13,41	84,55	6,63	60,22	54,15
Tyne Boghead Cannel (Karlsruhe)	67,35	5,35	3,79	3,27	1,01	0	19,23	83,37	6,62	61,20	51,96
Kilbride Cannel (Karlsruhe)	74,54	6,38	9,20	0,66	1,43	4,46	3,33	80,84	6,92	46,46	46,77
Plidderie Cannel (Altona)	76,61	6,75	7,25	0,66	1,24	1,77	5,72	82,82	7,29	46,79	44,40
Earl of Hopetown Cannel (Altona)	74,91	6,07	7,87	1,61	1,26	4,83	3,45	81,67	6,62	43,72	43,84
Earl of Hopetown Cannel (Darmstadt)	76,38	6,35	6,54	2,02	1,82	1,60	5,29	82,03	6,82	45,37	43,04
Schottische Woodville Boghead (Gaswerk)	76,39	6,57	7,37	1,76	1,22	3,09	3,60	81,87	7,04	44,00	43,30
Schottische Star Boghead (Gaswerk)	69,86	7,35	7,31	0,58	1,14	2,54	11,22	81,01	8,52	40,71	34,19
Australische Shale Boghead (Gaswerk)	69,81	8,43	4,85	0,54	0,81	0,29	15,77	83,17	10,04	30,58	17,63

Cannelkohle aus dem Ostrau-Karwiner Becken hatte nach M. Gröger[1]) folgende Zusammensetzung:

Kohlenstoff	76,66
Wasserstoff	5,14
Sauerstoff	9,37
Stickstoff	1,72
Verbrennlichen Schwefel	0,78
Wasser	2,12
Asche	4,21

Ueberblicken wir diese zahlreichen Analysen, so ergibt sich eine ganz außerordentliche Mannigfaltigkeit in der procentischen Zusammensetzung der Kohlen, selbst der organischen Substanz, also ohne Rücksicht auf Wasser, Asche und Schwefel[2]). Weder zwischen Braunkohlen (S. 500) und Steinkohlen (S. 506), noch zwischen diesen und Anthracit (S. 517) gibt es eine scharfe Grenze. Viele Analytiker berechnen den Sauerstoff als mit Wasserstoff gebunden und bezeichnen den übrig bleibenden Wasserstoff als „disponibeln" (vgl. S. 395). So meinten Fleck und Hartig (a. a. O. S. 231), daß das Verhältniß des disponibeln und nicht disponibeln Wasserstoffs zum Kohlenstoff der wichtigste Maßstab zur Charakteristik der Kohlen sei, daß z. B. die Eigenschaft der Kohlen zu backen und dichte, feste Koks zu liefern, hauptsächlich von der Menge des disponibeln Wasserstoffes abhängig sei und nur schwierig eintrete, sobald auf 1000 Thle. Kohlenstoff weniger als 40 Thle. disponibeln Wasserstoff komme. Die Menge der aus den Steinkohlen zu erzielenden Gase soll unter gleichen Verhältnissen dem nicht disponibeln Wasserstoff proportional wachsen. Sie unterscheiden:

Auf 100 Thle. Kohlenstoff:		
Disponibler Wasserstoff	Nicht disponibler Wasserstoff	
bis 40	bis 20	= Sinterkohlen und Anthracit,
„	über 20	= Gas- und Sandkohlen,
über 40	bis 20	= Backkohlen,
„	über 20	= Back- und Gaskohlen.

Diese Eintheilung trifft aber nicht zu. Auch die von Regnault[3]) vorgeschlagene Eintheilung der Kohlen nach dem Sauerstoffgehalte ist nicht zutreffend:

I.	Anthracit	(2,62 O + N)
II.	Fette, harte Kohle	(4,47 O + N)
III.	Fette Schmiedekohle	(5,74 O + N)
IV.	Fette Kohle mit langer Flamme, Gaskohle	(8,89 O + N)
V.	Trockene Kohle mit langer Flamme	(16,39 O + N)

Besser ist die Eintheilung nach der Koksausbeute (S. 112), welche aber, wie die Tabellen S. 506 und 507 zeigen, nicht unmittelbar mit den Analysen in Beziehung gebracht werden können. Bessere Uebersicht über die Zusammen-

---

[1]) Fischer's Jahresber. 1893, 8. — [2]) Obgleich letzterer zum großen Theil organisch gebunden ist. Vgl. Nachträge. — [3]) Fischer's Jahresber. 1889, 30.

setzung der Kohlen gewährt ferner die Umrechnung auf Atome, wie S. 520 ausgeführt wurde.

Um die näheren Bestandtheile der Kohlen zu erforschen, wurden diese mit Lösungsmitteln und verschiedenen Reagentien behandelt.

Durch Behandeln der Kohlen mit Aether, Chloroform, Benzol und Schwefelkohlenstoff haben verschiedene Chemiker geringe Mengen löslicher Stoffe erhalten. W. Smith[1]) behandelte drei japanesische Kohlen folgender Zusammensetzung:

	A	B	Miike Kohle
Kohlenstoff	69,66	73,98	74,22
Wasserstoff	5,35	4,20	5,84
Sauerstoff	12,92	12,66	5,61
Stickstoff	1,12	1,53	1,11
Schwefel	0,72	0,80	3,15
Wasser	3,13	2,27	0,62
Asche	7,10	4,56	9,45
Kohlenausbeute	59	58	60,5

mit Benzol, es löſten sich von:

A	0,57	Proc.
B	1,18	„
Miike	9,50	„

Die in letzterer Kohle enthaltenen öligen Stoffe erinnern an Erdöl. Smith glaubt, daß die bituminösen Stoffe aus den Oelen und Fetten der Pflanzen, aus denen die Kohlen entstanden sind, gebildet wurden, und daß sie daher weit reichlicher vorkommen in Kohlen von verhältnißmäßig jüngerem Ursprung.

P. Siepmann[2]) erhielt beim Behandeln westfälischer Gaskohle mit Chloroform 1,25 Proc. einer bei 80° schmelzenden Masse folgender Zusammensetzung:

Kohlenstoff	83,46	Proc.
Wasserstoff	7,93	„
Sauerstoff	4,27	„
Stickstoff	2,71	„
Schwefel	1,63	„

E. Guignet[3]) behandelte die Kohlenproben mit Phenol. Die in ein gröbliches Pulver gebrachte Steinkohle wird bei 110° völlig getrocknet und dann in ein unfühlbares Pulver verwandelt. Hierauf erhitzt man sie mit völlig wasserfreiem Phenol auf 100°. Die Flüssigkeit färbt sich stark braun; man

[1]) Journ. Soc. Chem. Ind. 1891, 975; 1892, 591. — [2]) Muck a. a. O. S. 71. — [3]) Compt. rend. 88, 590.

filtrirt warm durch ein doppeltes, getrocknetes Papierfilter. Beim Abkühlen setzt sich ein Theil der braunen Masse ab; um sie vollständig zu trennen, braucht man nur gewöhnlichen Alkohol hinzuzufügen, worauf sich reichliche Mengen brauner Flocken absetzen und die Flüssigkeit vollkommen klar wird. Durch Waschen der braunen Masse mit Alkohol auf einem kleinen Filter wird jede Spur des Phenols beseitigt. Der in Phenol lösliche Theil beträgt fast 2 Proc. von dem Gewichte der Steinkohle; doch wurde diese Grenze sogar überschritten, wenn man die Pulverisirung des Materials aufs Aeußerste trieb. Die auf solche Weise extrahirte braune Substanz wird durch Salpetersäure schwer angegriffen, wobei ein gelbes Product entsteht. Behandelt man die fein gepulverte Steinkohle mit Salpetersäure, so erhitzt sich das Gemenge ziemlich stark unter Entwickelung rother Dämpfe. Nach der Destillation aus dem Wasserbade und mehrmaligem Cohobiren wurde filtrirt und die überschüssige Säure durch Eindampfen beseitigt. Der Rückstand hiervon enthielt Eisenoxyd und Schwefelsäure (von den Pyriten), ferner Oxalsäure und Trinitroresorcin (Oxypikrinsäure). Diese Stoffe lassen sich leicht abscheiden, wenn man den Rückstand mit Wasser aufnimmt und mit kohlensaurem Baryt zum Sieden erhitzt. Hierdurch scheiden sich das Eisenoxyd, die Schwefelsäure und die Oxalsäure ab, während das Bariumoxypikrat in Lösung bleibt. Durch Fällung des Baryts mittelst Schwefelsäure wurde die Oxypikrinsäure in krystallinischem Zustande erhalten. Die mit Salpetersäure behandelte und vollkommen ausgewaschene Steinkohle enthielt nitrirte Producte, welche mehr oder weniger analog der Nitrocellulose sind, sich in den gewöhnlichen Flüssigkeiten nicht lösen und nach dem Trocknen bei der Erhitzung unter Entwickelung rother Dämpfe oxydiren. Weiter konnte ein gewisser Theil von Huminsubstanzen durch Behandlung von Alkalien gelöst werden, welche sich bald in Berührung mit dem Steinkohlenrückstande braun färbten. Guignet hält es für wahrscheinlich, daß die Steinkohle immer einige harzige und wachsartige Stoffe enthält, welche kaum verändert sind, schwer durch Lösungsmittel angegriffen werden, aber bei der Behandlung mit Salpetersäure Oxypikrinsäure liefern. Um nach Resorcin oder verwandten Verbindungen zu suchen, wurde die fein gepulverte Steinkohle mit Natronlauge von 40° B. gemengt, zur Trockne gebracht, bei 110° in einem gußeisernen Gefäße erhitzt und aus einer eisernen Retorte bei 400° destillirt. Man erhielt eine gelbliche durchscheinende Flüssigkeit, in welcher sich Ammoniak und Anilin, aber kein Resorcin fanden. Der Rückstand von der Destillation löste sich zum großen Theile in Wasser auf; die Lösung war dunkelbraun und schied nach dem Sättigen mit einer Säure große Mengen einer braunen Substanz ab, welche dem unter den Namen Ulmin, Huminsäure u. dergl. bekannten Stoffe gleicht. Es ist ein celluloseartiger Stoff in der Steinkohle, welcher durch das Natron bei höherer Temperatur angegriffen wird; denn wenn man dieselbe in der Kälte mit concentrirter oder rauchender Schwefelsäure behandelt, so färbt sich die Flüssigkeit braun und gibt auf Zusatz von Wasser und nach dem Sättigen der Säure ähnliche Producte wie durch Einwirkung von Natronlauge. Das Gemenge von Schwefelsäure und Salpetersäure, welches Fremy (vgl. S. 527) zur

Unterscheidung der Steinkohlen, Anthracite und Lignite vorgeschlagen hat, greift auch die Steinkohle an; allein es gibt nitrirte Producte, welche mit Huminkörpern gemischt sind und sich schwieriger trennen lassen als die Producte der Einwirkung der Salpetersäure für sich. — Guignet[1]) hat somit gezeigt, daß beim Behandeln von Steinkohle mit Salpetersäure sich verschiedene, in Wasser lösliche Stoffe, wie Oxalsäure, Trinitroresorcin u. s. w. bilden und daß noch wasserstoffhaltige, nitrirte, explosive Producte und humusartige Körper, welche theilweise in Alkalien mit brauner Farbe löslich sind, hinterbleiben.

Uebergießt man nach R. J. Friswell[2]) fein gepulverte, bituminöse Kohle mit ihrem doppelten Gewicht 49 proc. Salpetersäure, so findet eine heftige Reaction statt, und es wird, je nach der Art der angewandten Kohle, die ganze Menge oder der größte Theil derselben in eine in verdünnter Sodalösung lösliche Substanz verwandelt, welche durch Salzsänre wieder gefällt, nach dem Trocknen als glänzendschwarze Masse von muscheligem Bruch erscheint. Dieselbe ist in heißem Wasser etwas löslich und scheidet sich daraus beim Erkalten in tiefbraunen Flocken aus; bei 100° wird die Masse schwarz.

Nach Wiesner[3]) wird Braunkohle durch ein Gemisch von Kaliumchromat und Schwefelsäure leicht zerstört, Steinkohle nur theilweise, Anthracit wenig oder gar nicht.

Bartoli und Papasogli[4]) haben gefunden, daß alle natürlichen oder künstlich hergestellten Kohlen, deren Wasserstoffgehalt mindestens 1 Proc. beträgt, durch die passend geleitete Einwirkung von Natriumhypochlorit vollständig zerstört werden. Neben einer reichlichen Menge einer noch nicht genügend definirten sauren Substanz entsteht dabei in der Regel Kohlensäure, Oxalsäure und Mellithsäure, bei Ligniten außerdem etwas Chloroform, bei Steinkohlen ein sehr reizendes gasförmiges Product. Entsprechende Untersuchungen wurden ferner von Fremy[5]), Marsilly[6]) und Berthelot[7]) ausgeführt.

Nach Giraud[8]) gibt Steinkohle beim Kochen mit Schwefelsäure 4 Proc. Pyromellithsäure.

Nach Kremers[9]) geben Steinkohlen bei der trockenen Destillation Ammoniak, Braunkohlen Essigsäure. Nach Zinken (a. a. O. S. 1) kann auch der umgekehrte Fall vorkommen.

P. F. Reinsch[10]) empfiehlt Kochen mit Kalilauge. Nach längerem Kochen gröblich gepulverter Steinkohle mit starker Kalilauge erhält man nach Verdünnung mit Wasser und längerem Stehen einen Niederschlag, welcher alle die unlöslichen Bestandtheile der Steinkohle enthält und vorzügliches Material zur mikroskopischen Untersuchung liefert. Die überstehende tief dunkelbraune Flüssigkeit filtrirt, ergibt auf dem Filter nur sehr wenig schleimige Substanz,

---

[1]) Compt. rend. 88, 592. — [2]) Proc. Chem. Soc. 1892, 9. — [3]) Fischer's Jahresber. 1892, 111; vgl. das. 1886, 1058. — [4]) L'Orosi 1884, 125. — [5]) Compt. rend. 52, 114; Wagner's Jahresber. 1861, 706. — [6]) Wagner's Jahresber. 1863, 751. — [7]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1869, 481. — [8]) Bull. soc. chim. 11, 389. — [9]) Pogg. Ann. 84, 74. — [10]) Dingl. polyt. Journ. 256, 222; Fischer's Jahresber. 1885, 1205.

welche sich unter dem Mikroskope aus winzig kleinen, undurchsichtigen, jedoch verschieden gestaltigen Theilchen zusammengesetzt zeigt; darunter befinden sich einzelne der Körperchen von bestimmter organischer Form, welche den unlöslichen Rückstand der Hauptsache nach ausmachen. Unter dem Mikroskope erweist sich die alkalische filtrirte Auflösung als völlig gleichartig, von einer grau braunrothen Färbung. Aus dieser alkalischen Auflösung erhält man die aufgelöste amorphe Substanz der Steinkohle durch Uebersättigen mit Salzsäure oder Salpetersäure, Digeriren und Stehenlassen. Nach 24 Stunden hat sich die amorphe Substanz abgesetzt, während die überstehende Flüssigkeit nur schwach gelblich gefärbt ist. Nach Abfiltrirung der Flüssigkeit und mehrmaligem Auswaschen erhält man diesen Bestandtheil der Steinkohle im reinen Zustande als eine volnminöse, gallertartige Masse, auf dem Finger zerrieben von lebhaft graubraunrother Färbung. Beim Austrocknen schwindet diese Substanz um mehr als das zehnfache ihres Volumens im feuchten Zustande. Wird die ausgetrocknete Substanz mit Wasser befeuchtet, so quillt sie auf und wird breiartig. Weder concentrirte Salzsäure, Salpetersäure und Schwefelsäure, noch concentrirte Flußsäure zeigen die geringste Einwirkung auf diese Substanz. Mit concentrirter Salpetersäure erwärmt, wird die Substanz, unter Entwickelung von Salpetrigsäure, allmälig zersetzt. Die meisten Steinkohlen geben nur geringe Mengen dieses Stoffes; verschiedene russische Kohlen enthalten 5 bis 15 Proc. desselben. Nach Reinsch ist daher die Steinkohle aus zwei verschiedenen, durch ihr abweichendes Verhalten gegen alkalische Lösungen verschiedene Stoffe zusammengesetzt.

Schinnerer und Morawsky[1]) schmolzen Kohlenproben mit Kalium oder Natriumhydrat; die Schmelze von Lignit gab an Aether Brenzcatechin ab, die von Steinkohle nicht. Lignit, welcher vorher mit Aether ausgezogen war, gab aber kein Brenzcatechin.

P. Reinsch machte ferner die Beobachtung, daß die Steinkohle zum großen Theil aus durchscheinenden Kügelchen von 0,13 bis 0,24 mm Durchmesser besteht, welche unter Mithülfe des Polarisationsapparates ein schwarzes Kreuz, wie der Kalkspath zeigen; außerdem besteht die Kohle aus einem dunklen, undurchsichtigen Fasergebilde von verschiedener Form und seltenen zellenähnlichen Bildungen. In welcher Menge jene Kügelchen in der Steinkohle enthalten sind, geht daraus hervor, daß ein Dünnschliff von 4 qm Größe Hunderte von solchen Kügelchen zeigt und fast ganz daraus zu bestehen scheint. H. Reinsch[2]) meint, diese Bildungen seien mehr oder weniger veränderter Chenopodin. — A. Petzhold (s. o.) ist nicht damit einverstanden.

W. Luzi[3]) erinnert daran, daß es schwarze Kohlenstoffverbindungen gibt. Wenn Graphit mit chlorsaurem Kali und concentrirtester Salpetersäure anhaltend und wiederholt oxydirt wird, so verwandelt er sich schließlich in gelbe dünntafelförmige Kryställchen von rhombischem Habitus, die sogenannte Graphitsäure oder das Graphitoxyd, $C_{24}H_9O_{13}$ ($C_{28}H_{10}O_{15}$ nach Berthelot). Beim

[1]) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 4, 185. — [2]) Journ. prakt. Chem. 22, 188. — [3]) Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1893, 96.

Erhitzen auf 250° zersetzt sich dasselbe mit explosionsartiger Heftigkeit und es hinterbleibt eine Verbindung von der Zusammensetzung: $C_{44}H_6O_6$. Dieses Pyrographitoxyd des natürlichen Graphites ist an sich von tiefster Schwärze und gänzlicher Undurchsichtigkeit, er hat vollkommen das Aussehen von gewöhnlichem amorphen, elementaren Kohlenstoff, obgleich er doch eine Sauerstoff und Wasserstoff enthaltende bestimmte Kohlenstoffverbindung ist. Der aus Gußeisen auskrystallisirende Graphit gibt bei der Behandlung mit dem genannten Oxydationsgemische gelbe oder gelbgrünliche Kryställchen von der Zusammensetzung $C_{28}H_8O_{12}$, welche beim Erhitzen mit großer Heftigkeit zersetzt werden. Dabei hinterbleibt ein Körper von der Zusammensetzung: $C_{46}H_5O_5$; diese Verbindung, das Pyrographitoxyd des Gußeisengraphites, ist ebenfalls vollkommen schwarz und undurchsichtig wie Kohlenstoff. Der Graphitit gibt ein Pyrographititoxyd, welches zwar sonst andere andere Eigenschaften als die Pyrographitoxyde hat, aber doch ebenfalls schwarz und undurchsichtig ist. Luzi meint, da schwarze, undurchsichtige, organische Verbindungen existiren, so müsse man, um sich ein Bild von der Zusammensetzung der Steinkohlen und auch Anthracite zu machen, in erster Linie diese Verbindungen berücksichtigen. Es sei vielleicht nicht ausgeschlossen, daß unter Umständen der Verkohlungsproceß in der Natur so verlaufen könne, daß die entstehende Kohle nicht ein Gemenge verschiedener organischer Verbindungen, sondern nur eine einzelne schwarze Kohlenstoffverbindung darstelle.

Trotz aller dieser Arbeiten wissen wir von der Constitution der Kohlen also noch fast nichts [1]). Vielleicht haben derartige, aber systematisch durchgeführte Untersuchungen in Verbindung mit Brennwerthbestimmungen mehr Erfolg.

Brennwerth der Kohlen.

Die Frage nach dem Brennwerth der Kohlen hat sich seit Niederschrift der Uebersichten S. 129 und 403 weiter geklärt [2]).

Scheurer-Kestner [3]) führte weitere Versuche mit dem S. 153 und 398 beschriebenen Calorimeter, jetzt aber mit reinem Sauerstoff aus. Vier Proben aus dem Becken von Nord (I. bis IV.) und Charleroi (V. bis X.) ergaben (Brennwerth bezw. auf Wasserdampf als Verbrennungsproduct und aschenfrei):

---

[1]) Krämer hält die Kohlen für Anhydride hochcondensirter Glycole und Glycolsäuren und deren Oxy- und Amidoabkömmlinge; leider fehlen hierfür noch die genügenden analytischen thermochemischen Grundlagen; vgl. Fischer's Jahresber. 1887, 113; 1890, 630. — [2]) Die Münchener Versuche und Bunte's Angriffe wurden richtig gestellt in Zeitschr. f. angew. Chem. 1891, 114, 141; 1892, 490; vgl. das. 1889, 70; ferner Zeitschr. d. deutsch. Ing. 1884, 400. — Wie mangelhaft der Münchener Versuchskessel war, geht auch daraus hervor, daß trotz sorgfältiger Wartung (in dem mitgetheilten Versuche) der Wärmeverlust durch Herdrückstände 4,1 Proc., durch unvollständig verbrannte Gase 8, durch heiße Gase 21,1, zusammen 33,2 Proc. betrug, während dieser Verlust bei dem Hannoverschen Betriebsdampfkessel (Fischer's Jahresber. 1885, 1298) sich nur auf 11,8 Proc. stellte. — [3]) Compt. rend. 106, 1092 und 1230; Fischer's Jahresber. 1888, 15.

I. Fette Kohle von Anzin. Grube Lebret. II. Magere Kohle von Anzin. Grube Lambrecht. III. Magere Kohle von Anzin. Grube Saint-Louis. IV. Magere Kohle von Aniche. V. Magere Kohle von Bascoup I. VI. Magere Kohle von Sart-les-Moulins I. VII. Ungewaschene Kohle von Gilly-les-Charleroi und Viviers. VIII. Mittelfeste Kohle von Monceau-Fontaine-Martinez. Grube Monceau. IX. Magere Kohle von Bascoup II. X. Magere Kohle von Sart-les-Moulins II.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Fester Kohlenstoff	77,2	86,2	82,2	84,8	84,42	84,13	86,71	82,71	82,79	85,74
Flüchtiger Kohlenstoff	7,3	6,0	1,8	4,6	7,66	3,01	3,75	0,57	2,11	7,97
Gesammtkohlenstoff	84,5	92,2	84,0	89,4	92,08	87,14	90,46	83,28	84,90	93,71
Wasserstoff	4,2	4,0	3,7	4,0	6,04	6,31	3,76	3,98	4,58	4,10
Stickstoff	—	0,9	0,7	0,6	0,84	0,84	0,65	0,89	0,69	0,73
Sauerstoff	11,3	2,9	11,6	6,0	1,04	5,71	5,13	11,85	9,83	1,45
Flüchtige Stoffe	22,8	13,79	17,78	15,25	15,58	15,87	13,29	17,29	17,31	14,26
Koks	Fest	Pulv.	Pulv.	Pulv.	Pulv.	Pulv.	Pulv.	Fest	Pulv.	
Zusammensetzung des flüchtigen Theils.										
Kohlenstoff	31,9	43,8	10,2	30,2	49,3	18,9	28,2	3,3	12,2	56,0
Wasserstoff	18,5	29,3	20,8	26,3	38,5	39,8	28,2	23,2	26,6	28,6
Sauerstoff und Stickstoff	49,6	26,9	69,0	43,5	12,2	41,3	43,6	73,5	61,2	15,4
Brennwerth, gefunden	9257	8664	8460	8522	8639	8460	8553	8499	8437	8435
Brennwerth aus den Elementen berechnet	8048	8625	7861	8376	9199	8870	8406	7849	8194	8760
Brennwerth nach Dulong	7641	8518	7441	8159	9161	8665	8221	7459	7844	8708
„ „ Cornut	8276	8759	7910	8512	9419	8960	8540	7908	8259	8992

Kohlenproben aus dem Becken von Pas-de-Calais ergaben:

A Fette Kohle von Courrières. B Mittelfette Kohle von Noeud. Grube I. C Fette Kohle von Dourges I. D Fette Kohle von Courcelles-les-Lens. E Magere Kohle von der Grube Douvrin (Lens). F Fette Kohle von Dourges II. G Fette Kohle von Dourges III. H Fette Kohle von Lens. I Magere Kohle von Meurchin. K Fette Kohle von Béthune. L Magere Kohle von Douvrin.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
Fester Kohlenstoff	76,32	79,75	78,60	76,27	87,34	78,29	75,74	72,25	86,63	69,39	86,48
Flüchtiger Kohlenstoff	14,57	3,21	13,11	9,93	3,84	3,98	6,01	14,30	4,02	15,56	1,07
Gesammtkohlenstoff	90,89	82,96	91,75	86,20	91,18	82,27	81,75	86,55	90,65	84,95	87,55
Wasserstoff	4,07	3,42	3,13	3,93	3,96	4,89	5,41	3,83	3,76	6,35	3,77
Stickstoff	0,94	0,64	0,91	0,93	0,41	0,89	0,79	0,91	0,69	0,90	0,60
Sauerstoff	4,10	12,98	4,21	8,94	4,45	11,86	12,05	8,71	4,90	7,80	8,08
Flüchtige Antheile	23,68	20,25	21,40	23,73	12,66	21,71	24,26	27,75	13,37	30,61	13,52
Koks	Aufgebläht	Stücke	Aufgeb.	Aufgeb.	Pulv.	Aufgeb.	Aufgeb.	Aufgeb.	Pulv.	Aufgeb.	Pulv.

Zusammensetzung der flüchtigen Stoffe:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
Kohlenstoff	61,7	67,5	61,5	42,1	30,5	18,4	24,7	51,7	30,0	50,9	7,8
Wasserstoff	17,3	15,7	14,7	16,5	31,6	23,0	22,3	13,7	28,0	20,5	28,0
Sauerstoff und Stickstoff	21,0	16,8	23,8	41,4	37,9	58,6	53,0	34,6	42,0	28,6	64,2
Verbrennungswärme, gefunden	8814	8790	8726	8647	8642	8634	8562	8446	8438	8360	8340
Verbrennungswärme aus den Elementen berechnet	8509	7794	8320	8104	8508	8091	8174	8103	8414	8704	8167
Verbrennungswärme nach Dulong	8274	7234	8170	7785	8337	7662	7754	7784	8237	8423	7876
Verbrennungswärme nach Cornut	8963	7773	8725	8941	8620	8218	8357	8544	8535	9184	8207

Bei Untersuchung von drei Sorten französischen (I. bis III.) und drei böhmischen Braunkohlen (IV. bis VI.) fand Scheurer-Kestner[1]) früher:

	Wasser	Asche	Reinkohle			Brennwerth	
			Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Gefunden	Nach Dulong berechnet
I	8,27	15,96	72,98	4,04	22,98	6483	6295
II	1,00	20,70	70,57	5,44	23,99	7363	6533
III	7,82	6,70	60,31	4,85	28,84	6991	5782
IV	2,39	3,56	76,58	8,27	15,15	7924	8343
V	10,41	3,80	66,51	4,72	28,77	6358	5759
VI	10,60	4,01	67,60	4,55	27,85	6311	5827

Fig. 308.

Fig. 309.

Fig. 311.

Fig. 310.

Fig. 312.

[1]) Compt. rend. 73, 1332.

Scheurer-Kestner und Meunier Dollfus[1]) haben jetzt auch Brennwerthbestimmungen mit der Berthelot'schen Bombe ausgeführt. Sie verwendeten eine Stahlbombe *B* (Fig. 308 bis 312), welche im Inneren zum Schutz gegen saure Verbrennungsgase mit Platinblech *p* überzogen ist. Der sorgfältig gewogene Brennstoff, dessen Verbrennungswärme man bestimmen will, wird im Inneren der Bombe mittelst eines mehrfach durchlochten Platinbleches *P* aufgehängt; darüber befindet sich eine Eisenspirale *S* von bekanntem Gewicht, die durch einen elektrischen Strom zum Verbrennen gebracht werden kann, wobei sie den zu untersuchenden Brennstoff entzündet. Das mit Filzhülle *E* umgebene Messinggefäß *V* enthält 2 Liter Wasser. Die Verschlußkapsel *H* mit Sicherungsspinte *M* hält den Deckel *G*, dessen Schraubenventil *F* das Mundstück *D* für Sauerstoffeinlaß trägt. Durch die Elfenbeinhülse *K* geht der Platindraht *L*. Das Wasser des äußeren Gefäßes wird durch Rührer *R* in Bewegung erhalten. Steht der Sauerstoff unter 25 At. Druck, so soll die Verbrennung vollständig sein.

Nachdem die ersten mit Hülfe der Bombe gemachten Bestimmungen zu Ergebnissen geführt hatten, die um einige Procent geringer waren als die nach dem früheren Verfahren gewonnenen, wurde der ältere Apparat von Favre und Silbermann wieder vorgenommen und mit ihm unter Anwendung der von Berthelot empfohlenen Vorsichtsmaßregeln Vergleichsversuche angestellt. Dabei zeigte sich in der That, daß der Apparat von Favre und Silbermann früher höhere Zahlen ergeben hatte als jetzt.

Eine Ronchamp-Kohle hatte nach Walther Meunier folgende chemische Zusammensetzung:

Bestandtheile	der Rohkohle in Proc.	der reinen Kohle nach Abzug der Asche in Proc.
Kohlenstoff	76,80	{ flüchtig 77,86 / fest 10,22 } 88,08
Wasserstoff	4,42	5,07
Schwefel	1,05	1,20
Sauerstoff und Stickstoff	4,93	5,65
Asche	12,80	—
	100,00	100,00

Die Kohle lieferte nachstehendes Ergebniß der calorimetrischen Untersuchung mittelst der Berthelot'schen Bombe:

Gewicht der verwendeten Kohle	0,943 g
Temperatur zu Anfang des Versuches	11,735°
„ nach 1 Min.	14,000°
„ „ 2 „	14,600°

[1]) Bull. de Mulh. 1891, 577.

Temperatur nach 3 Min.	14,650°
„ „ 4 „	14,640°
„ „ 5 „	14,630°
„ „ 6 „	14,620°
„ „ 7 „	14,600°
„ „ 8 „	14,590°
Höchsttemperatur	14,650°
Anfangstemperatur	11,735°
Temperaturerhöhung	2,915°
Correction	+ 0,039°
Zusammen	2,954°

Nun betrug der Wasserwerth des Calorimeters 2400; man erhält somit 2,954 . 2400 = 7089 W.-E., oder nach Abzug von 22 W.-E. für die Eisenspirale: 7067 W.-E. Da das Gewicht der verbrannten Kohle 0,934 g betrug, so ergibt sich für die Verbrennungswärme der Rohkohle der Werth: 7067 : 0,943 = 7494 W.-E.

Als Mittel der chemischen Untersuchung mehrerer Kohlenpastillen fanden sich: 0,857 Proc. Wasser und 12,08 Proc. Asche, zusammen 12,94 Proc. Somit ergibt sich für die Verbrennungswärme der reinen Kohle der Werth: (7494 . 100) : (100 — 12,94) = rund 8620 W.-E.

Drei Wales-Kohlen und die Kohle von Douvrin (Nord-Frankreich) ergaben:

Kohle von	Penry Kiber	Best Eldon	Nyman's Merthyr	Douvrin
Nach der Doulong'schen Formel (W.-E.)	8382	8082	8513	8015
Summe der Verbrennungswärmen des in der Kohle enthaltenen C und H (W.-E.)	8703	8501	8685	8365
Mit der calorimetrischen Bombe gefunden (W.-E.)	8697	8264	8700	8408

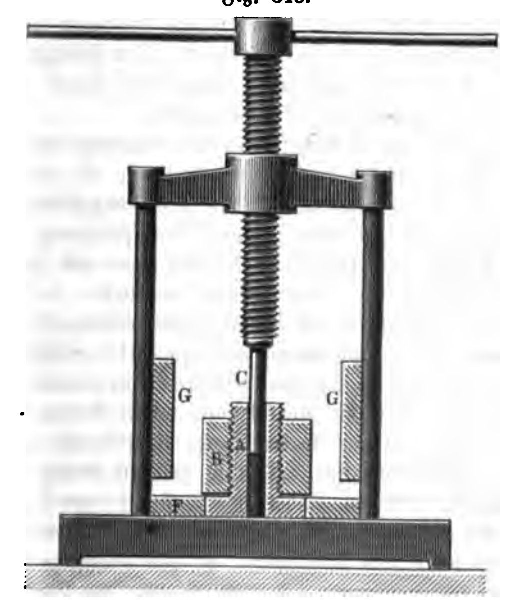
P. Mahler[1]) bestimmte in einer vereinfachten Bombe den Brennwerth (bezw. auf flüssiges Wasser) von sieben Kohlenproben:

[1]) Génie civ. 1892, 192; Bull. soc. d'encourag. 1892, 346; Zeitschr. f. angew. Chem. 1892, 491. — Mahler'sches Calorimeter liefert Golaz in Paris für 1050 Frcs. (Zeitschr. f. Rübenz. 1894, 757).

	Proc. Zusammensetzung						Brennwerth		
	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff u. Schwefel	Stickstoff	Wasser	Asche	Gefunden	ber. nach Dulong	ber. für C + H
Flammkohle von St. Marie (Blanzy) . . .	79,38	4,97	8,72	1,13	3,90	1,90	7866	7750	8124
Gaskohle von Commentry	80,18	5,25	7,19	0,98	3,00	3,40	7870	7964	8273
Gaskohle von Lens . . .	83,73	5,22	6,01	1,00	1,05	3,00	8395	8292	8550
Fettkohle von Treuil (St. Etienne)	84,55	4,77	4,59	0,84	1,25	4,00	8392	8267	8463
Halbfette Kohle von St. Mare (Anzin)	88,47	4,14	3,16	1,18	1,35	1,70	8393	8429	8564
Anthracitische Kohle von Kebao (Tongking) . .	85,75	2,73	2,67	0,60	2,80	5,45	7828	7749	7861
Pennsylvanischer Anthracit	86,45	1,99	1,50	0,75	3,45	5,90	7484	7590	7649

Da der Schwefel nicht bestimmt wurde, so sind die Zahlen von Dulong nicht genau; immerhin weichen dieselben um — 1,6 bis + 1,5 Proc. von den gefundenen ab, bei vergleichenden Versuchen somit Unterschiede bis 3,1 Proc. — Ob übrigens die von Berthelot[1]) selbst empfohlene Prüfung der Verbrennungsproducte mit Palladiumchlorür auf Kohlenoxyd ausgeführt wurde, die Verbrennung also thatsächlich immer vollkommen war, steht nicht fest.

Fig. 313.

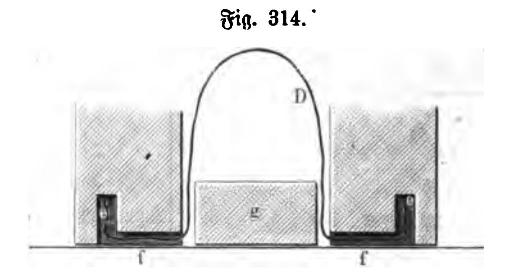


W. Hempel[2]) hat die Berthelot'sche Bombe ebenfalls vereinfacht. Das Pressen der Kohlenproben geschieht in einer getheilten Form. Die Preßform wird gebildet aus einer der Länge nach durchbohrten und quer durchschnittenen

[1]) Compt. rend. 115, 201; Berthelot, Praktische Anleitung z. Ausführung thermochemischer Messungen (Leipzig 1893). — [2]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1892, 389.

Schraube *A* (Fig. 313 a. v. S.), welche mittelst der Mutter *B* zusammengepreßt werden kann. In die Form paßt der cylindrische, aus gehärtetem Stahl hergestellte Stempel *C*. Der einzupressende Platindraht wird in der aus Fig. 314 ersichtlichen Weise in das Bodenstück eingelegt. Der Draht wird in die Löcher *e* und Rinne *f* ganz zweckmäßig mit etwas Wachs festgeklebt und so gebogen, daß er in einem Halbring über dem Bodenstück der Form in den inneren Hohlraum derselben hineinragt.

Fig. 314.



Die Form wird dann mit der Mutter *B* fest zusammengeschraubt, hierauf mit 1,5 g Kohlenstaub gefüllt und unter einer Schraubenpresse der Stempel *C* heruntergedrückt. Um die durch die Pressung gebildeten Kohlencylinder aus der Form zu nehmen, schraubt man die Mutter *B* ab nnd nimmt die beiden Theile der Schraube *A* auseinander. Gewöhnlich sitzt dann der gebildete Kohlencylinder ganz fest in der einen Hülse. Man kann denselben leicht von dem Eisen trennen, indem man ihn mit einem kleinen Meißel vorsichtig durch einen leichten Schlag ablöst. Durch die beschriebenen Operationen gelingt es, einen hohlen Kohlencylinder herzustellen, in dessen Mitte ein Platindraht steckt, dessen freie Enden an zwei Stellen herausragen. Nach jedem Gebrauch wird die Form gut gereinigt und geölt. Der Ueberschuß des Oeles wird aus dem Inneren der Form vor jeder Benutzung sorgfältig ausgewischt.

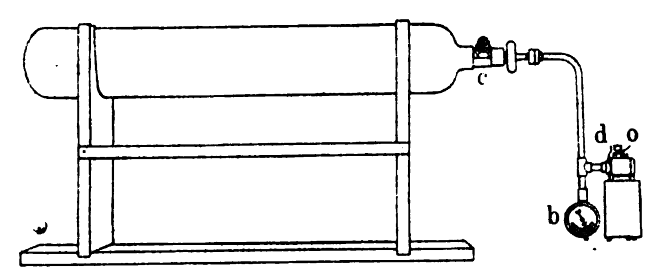
Fig. 315.

Von dem so hergestellten Kohlencylinder werden durch vorsichtiges Reiben alle etwa nur lose daran hängenden Theilchen entfernt und so viel abgeschnitten, daß er etwa 1 g wiegt. Unter Berücksichtigung des Gewichtes des Platindrahtes wird dann auf einer feinen Wage das genaue Gewicht ermittelt.

Die Verbrennung erfolgt in einer eisernen Autoclave, deren Einrichtung aus Fig. 315 ersichtlich ist. Dieselbe ist aus einer eisernen Röhre hergestellt, indem in diese ein etwa 10 mm starker Boden und ein etwa 30 mm starker Deckel eingeschraubt und hart eingelöthet sind. Das so gebildete Gefäß hat ungefähr 250 ccm Inhalt und muß auf einen Druck von 50 At. geprüft sein. Als Verschluß dient ein Kopfstück *A*; dasselbe hat ein Schraubenventil *a* und ist bei *b* zum Anschrauben an eine Flantsche hergerichtet. In dasselbe ist der eiserne Stift *c* fest eingeschraubt, der Stift *d* hingegen für elektrische Ströme isolirt eingesetzt. In die Stifte *c* und *d* sind etwa 0,8 mm starke Platindrähte *f* und *g* eingeschraubt und eingelöthet, welche

das aus feuerfestem Thon hergestellte Näpfchen *e* tragen. Die Isolirung des Poldrahtes *d* erreicht man, indem man über die conische Verstärkung *h* desselben ein Stück dünnwandigen Gummischlauchs *i* zieht, den man vorher durch das lange conische Loch des Verschlußstückes geschoben hat und dann unter gleichzeitigem starken Ausziehen des Schlauches den Poldraht *d* scharf eindrückt. Der untere Theil des Gummischlauches wird so abgeschnitten, daß er etwa 1 cm weit unter der Oberfläche des Eisenkopfes im Loche steckt; den oberen Theil läßt man etwas über den Kopf herausragen. Um ein Verbrennen des Gummischlauches im Inneren des Loches zu vermeiden, stopft man den unteren Theil desselben mit Asbest aus. Der durch das Pressen hergestellte Kohlencylinder wird durch einfaches Umwickeln seiner Platindrähte um die Platinträger *f* und *g* in Elektricität leitende Verbindung mit denselben gebracht. Die Dichtung des Ventiles und des Kopfstückes erfolgt durch Bleiplättchen. Nachdem das Kopfstück fest in das Autoclavengefäß eingeschraubt ist, erfolgt die Füllung mit Sauerstoff. Zu diesem Zweck wird dasselbe in der aus Fig. 316 ersichtlichen Weise mit einem Sauerstoffbehälter verbunden. Zwischen Sauer-

Fig. 316.

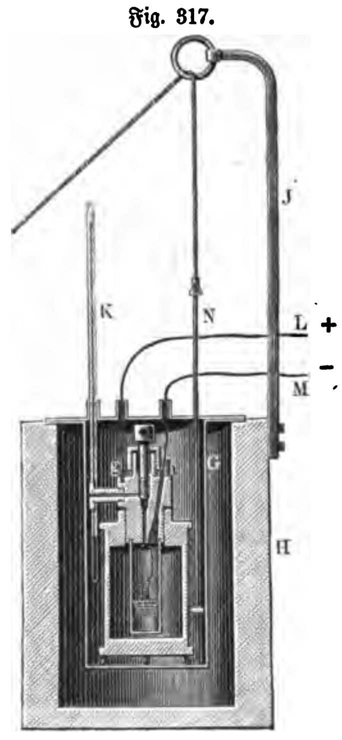


stoffbehälter und Autoclave ist ein Manometer eingeschaltet. Die Füllung geschieht in der einfachsten Weise, indem man erst das Ventil *a* um eine ganze Drehung aufschraubt und dann das Ventil *c* ganz vorsichtig öffnet. Ist der Druck in der Autoclave auf 6 At. gestiegen, so schließt man *c*, läßt den Sauerstoff, welcher die Autoclave erfüllt, wieder heraus, indem man die Flantsche *d* etwas aufschraubt, wodurch der größte Theil des Stickstoffes, welcher in derselben enthalten ist, ausgespült wird und läßt nun so viel Sauerstoff in die Autoclave strömen, bis der Druck 12 At. entspricht. Hierauf schließt man die Ventile und stellt die Autoclave in der aus Fig. 317 ersichtlichen Weise im Calorimetergefäß auf.

Das Calorimeter wird gebildet aus dem mit einem Deckel versehenen Metallgefäß *G* (Fig. 317 a. f. S.), welches mit einem Abstand von etwa 2 cm in das Holzgefäß *H* gehängt ist und 1 Liter Wasser enthält. In dem Calorimeter befindet sich ein feines Thermometer *K*, an welchem man noch Hundertelgrade schätzungsweise ablesen können muß, und eine Rührvorrichtung *N*. Die Rührvorrichtung besteht aus einem kreisförmig gebogenen Blech, welches mittelst zweier Führungsstangen und einer Schnur, die durch einen Ring geht, auf und ab bewegt werden kann. Mittelst der Poldrähte *L* und *M* und der

Quecksilbercontacte *i* und *k* (vgl. auch Fig. 315) wird der Apparat mit einer Tauchbatterie verbunden. Nach dem Zusammenstellen des Calorimeters wartet man so lange, bis das Thermometer bei zwei in einem Intervall von fünf Minuten gemachten Ablesungen keine Differenz mehr zeigt. Ist dies erreicht, so wird durch Eintauchen der Batterie der in der Kohle eingeschlossene Platindraht zum Glühen gebracht und dadurch die Entzündung derselben herbeigeführt. Unter fortwährendem Umrühren beobachtet man das Thermometer so lange, bis es anfängt wieder zurückzugehen. Anfangs- und Endtemperatur werden notirt. Die eigentliche calorimetrische Bestimmung beansprucht etwa 15 Minuten Zeit; die gesammten Vorbereitungen dazu können in einer Stunde leicht ausgeführt werden.

Fig. 317.



Die Wärmecapacität des ganzen Apparates (Autoclave und Calorimeter) ermittelt man am besten durch Verbrennung eines Körpers von bekannter Verbrennungswärme, dessen Menge man so bemißt, daß ungefähr die gleiche Wärmemenge erzeugt wird, die 1 g Steinkohle hervorbringt.

Folgende Analysen und calorimetrische Bestimmungen sind von P. Otto ausgeführt:

Kohlen Nr.	Asche	Wasser	S	N	C	H	O	Heizwerth gefunden	Heizwerth berechnet
1	9,5	6,85	1,5	2,6	67,45	5,3	6,8	6958	7019
2	9,2	6,64	1,5	2,6	67,31	5,3	7,45	6958	7016
3	5,31	7,25	0,97	1,8	72,3	5,3	7,17	7471	7351
4	5,38	6,97	0,97	1,4	72,7	5,1	7,18	7471	7345
5	4,4	9,1	0,75	3,1	72,25	5,7	4,7	7540	7613
6	2,4	1,7	1,4	—	72,1	0,4	0,4	5619	5981

Die letzte Probe gab also 6,4 Proc. weniger als die Dulong'sche Formel.

Häußermann und Naschold fanden für die vier chinesischen Kohlen (S. 516) mit der Berthelot-Mahler'schen Bombe:

	Gefunden	Nach Dulong berechnet	Differenz
1	8230	8267	— 0,5 Proc.
2	7856	7909	— 0,7 „
3	7507	7349	+ 2,1 „
4	8438	8096	+ 4,0 „

A. Bauer (S. 530) fand mit der S. 401 beschriebenen Form des vom Verf. angegebenen Calorimeters Abweichungen von + 2 bis — 2,7 Proc. von der Dulong'schen Formel. Zwei Saarkohlen ergaben z. B.:

	I.	II.
Kohlenstoff	79,64	80,35
Wasserstoff	5,02	5,21
Sauerstoff (+ N)	10,52	7,84
Schwefel	0,53	0,86
Wasser	1,33	1,22
Asche	2,94	4,52
Brennwerth, gefunden	7666	7518
„ berechnet	7514	7729

Schwackhöfer[1]) fand bis 3,7 Proc. mehr und 3 Proc. weniger, als die Dulong'sche Formel gibt. In seinen späteren Veröffentlichungen (vgl. S. 510) verwendet er aber ausschließlich diese Formel, scheint also von seinem Calorimeter (S. 394) selbst nicht sonderlich erbaut zu sein.

W. Thomson[2]) hat bei Verwendung seines Apparates (S. 404) die Verbrennungsproducte nicht untersucht, so daß die Vollständigkeit der Verbrennung zweifelhaft ist und wahrscheinlich seine Brennwerthbestimmungen zu niedrig sind, keineswegs aber zu hoch und doch gab die Kohle Crombouche (Nr. 9) um 10 Proc. höheren Brennwerth als die Dulong'sche Formel, wie nachfolgende Zusammenstellung die Ergebnisse mit 12 englischen Kohlen zeigt:

---

[1]) Vgl. Bd. I, S. 392; Zeitschr. f. angew. Chem. 1893, 397 und 398. — [2]) Journ. Soc. Chem. Ind. 1889, 525.

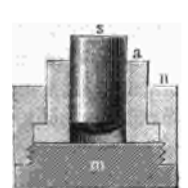
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Verkokung:												
Flüchtige Stoffe	11,722	30,103	32,085	25,633	24,264	27,553	29,809	32,287	31,666	28,314	31,228	28,527
Sogenannter fixer Kohlenstoff	84,046	50,276	57,755	65,037	60,899	64,629	63,870	56,464	57,871	64,099	61,212	65,661
Elementaranalyse:												
Kohlenstoff	88,029	68,134	74,464	75,484	72,130	75,049	78,930	72,409	69,774	76,487	73,913	79,760
Wasserstoff	4,112	4,777	5,105	4,982	4,672	5,123	4,904	5,158	4,819	4,964	4,858	4,893
Sauerstoff	1,977	4,861	8,251	7,865	6,565	9,391	7,239	8,844	12,445	8,458	11,320	7,517
Stickstoff	0,961	1,218	1,528	1,590	1,253	1,757	1,565	1,408	1,333	1,437	1,668	1,429
Schwefel	0,689	1,389	0,492	0,749	0,543	0,862	1,041	0,932	1,666	1,067	0,681	0,589
Asche	3,216	14,902	4,086	6,549	12,576	4,286	1,961	4,550	3,313	2,749	0,960	1,912
Wasser	1,016	4,719	6,074	2,781	2,261	3,532	4,360	6,699	7,150	4,838	6,600	3,900
Zusammensetzung der Kohlensubstanz:												
Kohlenstoff	92,585	86,257	83,342	83,945	85,240	82,182	85,203	82,453	78,956	83,733	80,551	85,215
Wasserstoff	4,325	6,047	5,713	5,541	5,521	5,610	5,294	5,873	5,453	5,434	5,294	5,227
Stickstoff	1,011	1,542	1,710	1,768	1,481	1,924	1,689	1,603	1,508	1,574	1,818	1,527
Sauerstoff	2,079	6,154	9,235	8,746	7,758	10,284	7,814	10,071	14,083	9,259	12,337	8,031
Brennwerth:												
Gefunden	8340	6448	7069	7384	6954	7583	7465	7242	7456	7552	7417	7736
Berechnet	8459	6972	7430	7493	7166	7443	7778	7607	6787	7549	7176	7819

H. Langbein[1]) macht in einem Rundschreiben folgende Angaben:

Bezeichnung der Kohle	Hygroskopisches Wasser Proc.	Asche in wasserfreier Substanz Proc.	Koks in aschefreier Substanz Proc.	Zusammensetzung der wasser- und aschefreien Kohle C	H	N	S	O	Heizwerth[1]) der Rohkohle W.-E.	Heizwerth der wasser- und aschefreien Kohle W.-E.
Böhmische Braunkohle.	18,00	3,99	49,59	71,58	5,35	1,28	0,35	21,44	5238	6789
Zwickauer Steinkohle .	7,86	3,18	58,09	80,33	5,71	1,58	1,44	10,94	7008	7905
Westfälischer Anthracit .	1,20	5,74	92,44	90,44	3,75	1,40	1,06	3,35	7692	8269
Rositzer Briket	12,61	7,90	—	68,72	5,76	0,74	2,10	22,68	5141	6491

Vergleichende Versuche des Verf.[2]) wurden in folgender Weise ausgeführt. Die Proben werden in die Form 8 bis 12 mm hoher und 13 mm dicker Cylinder gebracht. Holzkohle u. dgl. kann aus einem Stück geschnitten werden, Holz wird durch Sägen oder Raspeln zerkleinert, Torf wird gröblich zerstoßen, Braunkohle und Steinkohle werden gepulvert, dann gepreßt. Getheilte Formen haben den Uebelstand, daß die Proben beim Auseinandernehmen der Form leicht der Länge nach gespalten werden, besonders aber, daß das Auseinanderschrauben oft große Schwierigkeit macht. Diese Uebelstände werden durch die ungetheilte Form (Fig. 318) vermieden, welche dem sogen. Diamantmörser ähnlich ist.

Fig. 318.



Auf der vierkantigen Bodenplatte *m* wird der Stahlring *a* durch die sechskantige Mutter *n* gehalten. Nach Einfüllen der Probe wird der Stempel *s* niedergepreßt, — eine Copirpresse auf eiserner Platte genügt dazu —, dann Mutter *n* abgeschraubt, der Theil *a* auf einen ringförmigen Untersatz gestellt und durch Niederpressen des Stempels *s* die Probe herausgedrückt. Schmiermittel sind nicht erforderlich, m. E. auch unzulässig.

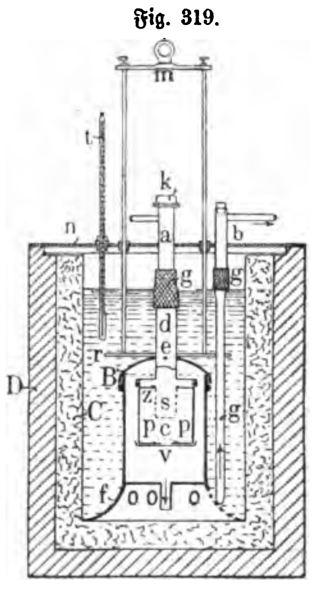
Die Probecylinder werden in Wägegläschen (mit Glasstopfen) gebracht; bei der Verwendung werden sie in denselben bei 110° getrocknet (Stickstoffstrom ist hier nicht erforderlich), gewogen und sofort ins Calorimeter gebracht.

Zu den Brennwerthbestimmungen selbst ist zu bemerken, daß der Einsatz *pv* (Fig. 319 a. f. S.) aus Silber und Platin, auch aus Nickel hergestellt werden kann; selbst der Korb *s* kann aus Nickeldrahtnetz bestehen, so daß bei

[1]) Der Heizwerth bezieht sich auf die Verbrennungsproducte: CO_2, Wasserdampf von 100°, SO_2. — [2]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1890, 594; 1892, 542; 1893, 575; 1894, 19 und Nachtrag.

Herstellung des Apparates Edelmetalle völlig vermeidbar sind. Die Herstellungskosten desselben werden dadurch auf etwa die Hälfte ermäßigt [1]).

Fig. 319.



Für alle technischen Zwecke genügt die Ablesung des Thermometers *t* mit Lupe (mit großem Gesichtsfeld), da ein geübter Beobachter auch hiermit bis 0,01° genau ablesen kann. Dann kann aber auch der Rührer *mr* unmittelbar mit der Hand bewegt werden, der bisherige Schnurbetrieb also fortfallen.

Bei der jetzt so rasch ausgeführten Verbrennung ist die gleichzeitige Elementaranalyse [2]) nur unter Verwendung weiter U-Röhren mit Natronkalk u. s. w. ausführbar. Da die Wasserstoffbestimmung aber besondere Sorgfalt erfordert, andererseits die Elementaranalyse in der (S. 126) erwähnten Weise so einfach und rasch ausführbar ist, so werden bei der jetzigen Brennwerthbestimmung besser nur die unvollständigen Verbrennungsproducte bestimmt. Es ist dann auch nicht erforderlich, den zugeführten Sauerstoff zu trocknen. Zur besseren Beurtheilung des Gasstromes verbindet man mit dem Rohr *b* zunächst eine kleine Waschflasche mit Kalilauge, dann zwei 2,5 bis 3 cm weite U-Rohre mit grobkörnigem Natronkalk und ein gleiches Rohr mit grobkörnigem Chlorcalcium, sodann ein Rohr mit einer Schicht Kupferoxyd, welches, wie bei Elementaranalysen, durch einen Vierflachbrenner erhitzt wird. Daran schließt sich ein gewogenes Chlorcalciumrohr und eine oder zwei Natronkalkröhren. Dünnwandige, 2 bis 2,5 cm weite und 12 cm lange U-Rohre wiegen gefüllt, mit Kautschukstopfen und Verbindungsröhren 80 bis 100 g. Die Verbindungsrohre müssen 3 bis 4 mm, die Schläuche 4 bis 5 mm innere Weite haben, um den Gasstrom nicht zu hemmen.

---

[1]) Universitätsmechaniker W. Apel in Göttingen z. B. liefert einen solchen Apparat (ohne Thermometer) für 100 Mk. — [2]) Zur Elementaranalyse der Brennstoffe ist zu bemerken, daß besonders Holz und leichter Torf in zerkleinertem Zustande nach dem Trocknen ungemein hygroskopisch sind, so daß ein genaues Abwägen der Proben sehr schwierig ist. Dieser Uebelstand wird dadurch gehoben, daß man mit einer kleinen Handwage etwa 0,4 g der lufttrockenen Probe abwiegt und in 8 bis 10 mm dicke Cylinder preßt, welche nun im offenen Wägegläschen im Trockenschrank bei 110 bis 115° getrocknet werden. Das Trocknen wird befördert, wenn man durch das Trockenglas oder — bei mehreren Proben — durch den Trockenschrank gegen Ende des Trocknens langsam trockene Luft leitet. Damit feuchte Proben nicht durch den entweichenden Wasserdampf aus einander getrieben werden, läßt man die Temperatur langsam steigen. Steht eine Wasserstrahlluftpumpe zur Verfügung, so empfiehlt sich das Trocknen unter Luftverdünnung.

Da bei der Verbrennung der Probe nur 1,5 bis 2 Liter Sauerstoff verbraucht werden, so kann man den größten Theil des verwendeten Sauerstoffs in einem Gasometer auffangen, nur muß die Verbindung des letzten Absorptionsrohres mit der Gasometerglocke so beschaffen sein, daß dieselbe etwas saugend wirkt, keinesfalls aber Gegendruck ausübt. Es ist stets zu beachten, daß durch den ganzen Apparat bis 6 Liter Sauerstoff minutlich durchgeleitet werden können, ohne daß im Calorimeter ein Gegendruck entsteht, welcher die Glaskappe *k* oder gar den ganzen Deckel abschleudert.

Von dem feingeraspelten Holz oder Torf wiegt man mit einer kleinen Handwage etwa 1 g, von Kohle etwa 0,8 g ab, preßt in etwa 12 mm dicke Cylinder und trocknet, wie bei den Proben für Elementaranalyse angegeben. Zur Erleichterung der Entzündung kann man die Mitte der oberen, nach innen gewölbten Fläche der Stücke mit einer Korkfeile o. dgl. vorher etwas rauhen. Für manche Zwecke kann man die Probestücke ohne künstliche Trocknung verwenden.

Bei Ausführung des Versuches entnimmt man mittelst Pincette dem gewogenen Gläschen ein Preßstück (dessen Gewicht durch Zurückwiegen des Gläschens bestimmt wird), schiebt es in den Korb *s*, so daß die Vertiefung nach oben kommt, hängt *p* in die tellerartige Fortsetzung von *d*, setzt den Deckel[1]) fest auf das Calorimeter, wie die Fig. 319 zeigt und dann die ganze Vorrichtung in das Gefäß *B*. Aufsatz *a* wird mit der Sauerstoffzuleitung, *b* mit den Absorptionsapparaten verbunden, die erforderliche Menge Kühlwasser eingegossen, der Deckel *n* aufgelegt, das Thermometer *t* eingesetzt und abgelesen, wenn die Temperatur sich nicht ändert. Nun läßt man einen schwachen Sauerstoffstrom eintreten, wirft einen kleinen glühenden Kohlensplitter (1,5 bis 2 mg) ein, setzt sofort *k* wieder fest auf und verstärkt gleichzeitig den Sauerstoffstrom. Sobald nach wenig Secunden das schwache Leuchten des Aufsatzes *a* die beginnende Verbrennung anzeigt, läßt man den Sauerstoff so rasch eintreten, daß in der Minute 5 bis 6 Liter zugeführt werden. Zeigt die abnehmende Helligkeit des Aufsatzes *a*, daß die Verbrennung nachläßt, so mäßigt man den Sauerstoffstrom auf etwa $^1/_3$. Bei Holz, Torf und Braunkohlen dauert die Verbrennung nur etwa anderthalb, bei Steinkohlen etwa zwei Minuten[2]). Nach weiteren zwei bis zweieinhalb Minuten zeigt das Thermometer *t* den höchsten Stand[3]) und damit das Ende des Versuches. Der Apparat wird aus einander genommen und die Gewichtszunahme der mit dem Kupferoxydrohre verbundenen Chlorcalcium- und Natronkalkrohre bestimmt, um die unverbrannten Gase festzustellen.

Für die Berechnung ist Folgendes zu bemerken. Bei vorliegenden

---

[1]) Unter Verwendung von etwas Schmiermittel aus geschmolzenem Kautschuk und Vaseline. — [2]) Um die Verbrennungsproducte in die Absorptionsrohre überzuführen, läßt man dann noch 1 bis 1,5 Liter Sauerstoff, oder — wenn der überflüssige nicht aufgefangen wird — Luft durchgehen. — [3]) Bei dem von mir verwandten Silberapparat; bei schweren Nickelapparaten dauert der Temperaturausgleich etwa eine Minute länger.

Bestimmungen wurden 1600 g [1]) Kühlwasser verwendet, so daß der Gesammtwasserwerth des Calorimeters 1710 war. Die Wärmeübertragung des Calorimeters für 1° Temperaturunterschied und Minute entspricht nur 4 *w* bei sorgfältiger Trockenhaltung der Füllung C. Da der Versuch kaum vier Minuten dauert, so ist die bez. Correction gering.

Die Temperaturzunahme des Kühlwassers betrug z. B. am Ende der 1. Minute 1,2°, der 2. Minute 2,5°, der 3. Minute 2,9° und der 4. Minute 3,0°; die mittlere Temperatur kann daher für die einzelnen Minuten angenommen werden:

1.	Minute zu	0,6°	entsprechend	2,4 *w*
2.	„ „	1,8°	„	7,2 „
3.	„ „	2,7°	„	10,8 „
4.	„ „	2,9°	„	11,6 „
				32,9 *w*

Für alle praktischen Zwecke erscheinen daher weitläufige Berechnungen überflüssig; es genügt, $^2/_3$ der Temperatursteigerung als Durchschnitt anzunehmen, hier also 2°, somit $2 \times 4 \times 4 = 32$.

Vor der Entflammung entweicht zuweilen eine geringe Menge brennbarer Gase, welche als Wasser und Kohlensäure zur Wägung gelangen. Für 1 mg Wasser sind 3,2 *w* (bez. auf Wasserdampf als Verbrennung, bez. 3,8 bez. auf flüssiges Wasser), für 1 mg Kohlensäure 1,55 *w* in Rechnung zu setzen. Wie nachfolgende Versuche zeigen, läßt sich diese Correction gering halten. Unverbrannte Rückstände kommen nicht vor.

Die Gase entweichen je nach der Schnelligkeit des Gasstromes 1 bis 3° wärmer, als das Kühlwasser ist, also etwa 5° wärmer als der eintretende Sauerstoff. Bei 7 bis 8 Liter Sauerstoff entspricht der dadurch verursachte Wärmeverlust etwa 12 *w*, also soviel wie die Zünderkohle gibt. Diese beiden Correctionen gleichen sich daher aus.

Im Calorimeter wird der größte Theil des gebildeten Wassers verflüssigt. Wird der Brennwerth auf flüssiges Wasser als Verbrennungsproduct berechnet (*W*), so sind für je 10 mg dampfförmig entweichendes Wasser 6,1 *w* zuzuzählen; bezieht sich aber der Brennwerth auf Wasserdampf von 20° (*D*), so sind für je 10 mg verflüssigtes Wasser 6,1 *w* abzuziehen. Man kann die Menge des verflüssigten Wassers bestimmen, indem man das Calorimeter nach der Verbrennung äußerlich trocknet und nach Entfernung der Aufsätze *a* und *b* nebst Schlauchansatz *g* wiegt. Nun wird das Calorimeter geöffnet, durch Erwärmen auch innen getrocknet und wieder gewogen [2]). Genau, aber umständlich ist es, das Wasser durch einen trocknen Luftstrom in ein gewogenes Chlorcalciumrohr überzuführen. Kennt man die Elementarzusammensetzung des Brennstoffes, so läßt sich die Menge des entwichenen Wasserdampfes leicht berechnen. Sie läßt sich aber auch bestimmen, wenn man die Temperatur der abziehenden Gase durch ein in *b* eingesetztes Thermometer (ganze Grade ge-

[1]) Man kann sich hierzu eine Meßflasche einrichten mit Marke für 15 und 20°. Die specifische Wärme des Wassers bei etwa 20° ist hier als 1 angenommen. Vgl. S. 65. — [2]) Das im Calorimeter niedergeschlagene Wasser enthält bei Kohlen auch Schwefelsäure und Schwefligsäure, welche hier nicht berücksichtigt wurden.

nügen) bestimmt. Entweichen z. B. die Gase mit 23°, so enthält 1 Liter 20,4 mg Wasser, bei Verwendung von 8 Liter Sauerstoff also 163 mg, entspr. 99 *w*. Wurde der Sauerstoff aber bei 19° feucht eingeführt, so enthielt er bereits 130 mg Wasser, so daß nur 33 mg entführt wurden, entspr. 20 *w*. Etwas Wasser scheint aber als Nebel entführt zu werden, so daß die Menge desselben meist 10 bis 15 mg größer ist.

Für manche technische Zwecke hinreichend genau kann man die Wärmeabgabe des Calorimeters und den entführten Wasserdampf dadurch ausgleichen, daß man das Kühlwasser 2° kälter nimmt als die Umgebung und den zugeführten feuchten Sauerstoff.

Zur Einübung des Verfahrens eignet sich Zellstoff gut.

Bestes Filtrirpapier wurde mit salzsäurehaltigem Wasser verrührt, der erhaltene Zellstoff gut ausgewaschen, in Filtrirpapier gehüllt an der Luft getrocknet, dann in 0,8 bis 1,5 g schwere Cylinder gepreßt und diese bei 110 bis 115° getrocknet. Der Versuch mit der schwersten Probe ergab z. B.:

Angewendet (aschenfrei) 1452 mg.
Temperaturzunahme des Calorimeters 3,52°, entspr. 6019 *w*.
Wärmeverlust des Calorimeters 32 *w*.
Unvollständige Verbrennung:
Geb. 2 mg Wasser entspr. 7 *w*
" 10 " Kohlensäure " 23 "
Wasser verflüssigt 750 mg, somit[1]) dampfförmig 57 mg entspr. 35 *w*.

Somit Brennwerth (W) = 6109 *w*, oder für 1 g = 4207 *w*. Drei andere Versuche ergaben 4220, 4174 und 4202, im Mittel somit 4200 *w*. Die Dulong'sche Formel würde für Zellstoff $C_6H_{10}O_5$ (44,44 Proc. Kohlenstoff) nur 3591 *w* geben[2]).

Eichenholz, trocken, ergab bei der Elementaranalyse:

Kohlenstoff	49,84	Proc.
Wasserstoff	5,83	"
Stickstoff	0,10	"
Sauerstoff	43,84	"
Asche	0,39	"

Eine Brennwerthbestimmung:

Angewendet 1,211 g.
Temperaturzunahme 3,29°, entspr. 5626 *w*.
Wärmeverlust des Calorimeters 35 *w*.

---

[1]) Zellstoff giebt beim Verbrennen 55,56 Proc. Wasser, 1,452 g somit 807 mg. — [2]) F. Stohmann und H. Langbein (Journ. f. prakt. Chem. 45, 305) fanden mit der Bombe für

Cellulose ($C_6H_{10}O_5$)	678,0	Cal.
Stärkemehl "	677,5	"
Dextran "	666,2	"

bei constantem Druck, während die Dulong'sche Formel nur $72 \times 8,1 = 583,2$ Cal. ergeben würde.

Unvollständige Verbrennung:

3 mg geb. Wasser		entspr.	11 c.
28 „ „ Kohlensäure		„	43 „
Wasser verfl.	590 mg	entspr.	360 c.
„ dampff.	43 „	„	26 „
Somit Brennwerth (*W*) . .			5741 „
„ „ (*D*) . .			5355 „

Auf 1 g berechnet und zusammengestellt mit zwei anderen Versuchen:

	I.	II.	III.	Mittel
Brennwerth (*W*) . .	4740	4729	4751	4740
„ (*D*) . .	4421	4410	4432	4421

Die Dulong'sche Formel würde nur (*W*) = 4146 und (*D*) = 3827 c. ergeben.

Preßtorf. Die Tiegelprobe (sog. Immediatanalyse) ergab:

Wasser	11,90
Flüchtig	58,58
Koks, aschefrei	27,01
Asche	2,51

Die Elementaranalyse:

Kohlenstoff	56,02
Wasserstoff	5,57
Stickstoff	1,11
Sauerstoff	34,60
Asche	2,70

Zwei Brennwerthbestimmungen:

	I.	II.
Angewendet	968 mg	914 mg
Temperaturzunahme des Calorimeters . . .	3,02°	2,84°
Entsprechende Wärme	5164 c.	4856 c.
Correction des Calorimeters	28 „	30 „
„ für gebundenes H_2O	7 „	10 „
„ „ „ CO_2	33 „	42 „
Verflüssigtes Wasser	445 mg	413 mg
Wasserdampf	40 „	45 „
Brennwerth (*W*)	5256 c.	4965 c.
„ (*D*)	4961 „	4686 „
Oder für 1 g:		
Brennwerth (*W*)	5430 c.	5432 c.
„ (*D*)	5125 „	5127 „

Nach der Dulong'schen Formel wäre (*W*) = 4953 c.

Westfälische Steinkohle, trocken, enthielt:

Kohlenstoff	77,29	Proc.
Wasserstoff	4,55	„
Schwefel	0,75	„
Stickstoff	0,98	„
Sauerstoff	11,99	„
Asche	4,44	„

Zwei calorimetrische Versuche gaben:

	I.	II.
Angewendet	758 mg	837 mg
Temperaturzunahme	3,37°	3,71°
Entsprechende Wärme	5763 *w*	6344 *w*
Correction des Calorimeters	30 „	29 „
Unvollständige Verbrennung:		
Für gebundenes H_2O	6 „	0 „
„ „ CO_2	29 „	30 „
Verflüssigtes Wasser	265 mg	290 mg
Wasserdampf	45 „	53 „
Brennwerth (*W*)	5855 *w*	6435 *w*
„ (*D*)	5667 „	6226 „
Somit für 1 g:		
Brennwerth (*W*)	7726 *w*	7688 *w*
„ (*D*)	7475 „	7438 „

Nach der Dulong'schen Formel wäre Brennwerth *W* nur 7289.

Wenn es daher auf 5 bis 10 Proc. mehr oder weniger nicht ankommt, mag man auch ferner die Dulong'sche Formel als richtig bezeichnen.

Zuverlässige Brennwerthe erhält man nur durch calorimetrische Bestimmungen, welche in der angegebenen Weise in jedem Laboratorium ohne Schwierigkeit ausführbar sind [1]).

Kohlenasche.

Braunkohlenasche hat, wie nachfolgende Analysen zeigen, verschiedene Zusammensetzung:

	I.	II.	III.
Kieselsäure	26,15	12,00	34,53
Thonerde	7,58	9,00	16,86
Eisenoxyd	9,97	56,21	14,53
Kalk	23,96	12,50	13,33
Magnesia	8,98	2,25	0,86
Alkalien	5,39	Spur	6,06
Schwefelsäure	15,38	7,50	13,40
Phosphorsäure.	2,11	0,54	0,84
Zink	0,05	—	—
Kupfer	Spur	—	—
Mangan	Spur	—	—

[1]) Daß die Dulong'sche Formel für einzelne technische Zwecke ausreichen kann, habe ich nicht bestritten; habe ich (als Mitglied der gemeinsamen Commission des Vereins deutscher Ingenieure und der Dampfkesselvereine) es doch selbst veranlaßt, daß in die damaligen „Normen“ die Dulong'sche Formel aufgenommen wurde. (Vgl. Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1882. Zeitschr. deutsch. Ing. 1884, 399.)

I. Asche von Lignit von Trifail nach Priwoznik (Journ. f. prakt. Chem. 1888, 3).

II. Lignit der Minerva-Grube Herault, nach Baroulier (Ann. d. Mines 1883, 137).

III. Braunkohle von Dioszyór, Ungarn (Fischer's Jahresb. 1887, 2).

Braunkohle von San Raphael, Argentinien, enthielt nach J. Kyle (Chem. News 66, 211):

Kohlenstoff	60,59	Proc.
Wasserstoff	8,63	"
Stickstoff	1,43	"
Schwefel	4,23	"
Sauerstoff	25,12	"
Asche	0,63	"

Die Asche (in heißer verdünnter Salpetersäure löslich):

Vanadiumpentoxyd, V_2O_5	38,22	Proc.
Phosphorpentoxyd, P_2O_5	0,71	"
Schwefelsäure, SO_3	12,06	"
Calciumoxyd, CaO	8,44	"
Eisenoxyd, Fe_2O_3	4,98	"
Thonerde, Al_2O_3	3,32	"
Kali, K_2O	1,73	"

In der Säure unlöslich:

Kieselsäure, SiO_2	13,70	Proc.
Eisenoxyd, Fe_2O_3	9,42	"
Thonerde, Al_2O_3	5,26	"
Magnesia, MgO	0,83	"

Steinkohlenasche hat z. B. folgende Zusammensetzung:

Steinkohlenasche	Königsgrube nach Grundmann	New-Castle nach Taylor	Westliche Kohlenfelder Missouri nach Schweitzer	Nach Kremers				
				Inde-Revier bei Aachen	Waldenburg	Zwickau		
Eisenoxyd	16,06	15,96	75,90	60,79	54,47	6,36	25,83	74,02
Thonerde	18,95	12,19	7,46	2,21	8,31	31,36	22,47	5,28
Kalk	3,21	9,99	0,40	19,23	3,44	1,08	2,80	2,26
Magnesia	1,97	1,13	0,39	5,08	1,60	0,35	0,52	0,26
Kali	2,05	1,17	—	0,35	0,07	0,11	0,60	0,53
Natron	Spur	—	—	0,08	0,29	—	0,28	—
Kieselsäure	55,40	59,56	14,34	1,70	31,30	60,23	45,13	15,48
Schwefelsäure	1,73	8,2	0,71	10,71	0,52	0,23	2,37	2,17
Phosphorsäure	0,36	—	0,14	—	—	—	—	—
Chlor	Spur	—	—	—	—	—	—	—
Manganoxyd	—	—	0,99	—	—	—	—	—

Viele Steinkohlenaschen enthalten Phosphorsäure; Le Chatelier[1])

[1]) Wagner's Jahresb. 1873, 963.

fand bis 3 Proc. Phosphorsäuregehalt. A. Carnot[1]) fand in Steinkohlen bis 0,06 Proc. Phosphor; er führt den Phosphor auf die Sporen oder Pollenkörner zurück. H. Reinsch[2]) fand in Steinkohlen bis 1 Proc. Phosphorsäure, A. S. Mc Creath[3]) bis 0,17 Proc. Phosphor, in den daraus dargestellten Koks 0,28 Proc.

Die Asche westfälischer Steinkohlen enthält nach Platz[4]) bis 0,5 Proc. Kupfer, Blei und Zink. Aschenanalysen oberschlesischer Steinkohlen ergaben nach Jensch[5]):

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Sand	39,45	26,07	3,86	6,89	6,43	9,20
Lösliches SiO_2 .			20,94	38,34	28,20	27,45
Al_2O_3	18,23	27,80	20,63	15,84	23,82	28,57
Fe_2O_3	15,68	19,84	26,02	19,27	18,58	10,76
MnO	1,33	0,42	2,84	1,17	1,43	0,20
ZnO	0,26	0,37	1,12	0,09	0,55	0,86
PbO	0,021	0,069	0,058	0,037	0,082	0,066
CdO	0,008	0,001	0,008	0,005	0,004	0,002
CaO	6,02	11,15	6,40	2,16	3,29	7,45
MgO	2,44	4,21	4,69	0,81	0,87	2,00
Alkalien	2,17	0,76	2,98	2,10	3,09	2,09
SO_3 (Ges.) . .	12,83	7,38	9,48	11,84	12,61	10,88
P_2O_5	1,29	1,48	0,85	1,09	0,97	0,23

I. Ungewaschene Würfelkohlen vom Schmiederschacht bei Poremba.
II. Gewaschene Kohlen ebendaher aus der Kohlenwäsche der Friedenshütte.
III. Staubkohlen vom Schmiederschacht.
IV. Staubkohlen der Wolfganggrube (Valentinschacht bei Ruda).
V. Staubkohlen vom Gotthardschacht der Paulusgrube bei Morgenroth.
VI. Kleinkohlen vom Aschenbornschacht der Gottessegengrube bei Antonienhütte.

Nach Poleck[6]) enthält der Schwefelkies der Steinkohlen auch Nickel; Schulze[7]) fand in Steinkohlen Thallium und Lithium. Manche Steinkohlen enthalten auch Schwerspath, andere Chlornatrium.

Macadam[8]) erinnert an den Arsengehalt des in Steinkohlen eingelagerten Schwefelkieses; Steinkohlenruß enthielt 0,089 bis 0,117 Proc. Arsenigsäure.

[1]) Compt. rend. 99, 154. — [2]) Jahrbuch 26, 317. — [3]) Iron 1879, 679. — [4]) Fischer's Jahresb. 1887, 15; 1889, 12. — [5]) Chem. Ind. 1887, 54. — [6]) Inauguraldissertation 1869. — [7]) Fischer's Jahresb. 1886, 1069. — [8]) Journ. Pharm. Soc. Dec. 1878.

Gasgehalt der Kohlen, schlagende Wetter.

Welches Unheil die den Kohlen entströmenden Gase anrichten können, zeigt z. B. folgende Zusammenstellung der Explosionen schlagender Wetter [1]) in Oberbergamtsbezirk Dortmund:

Jahr	Anzahl der betriebenen Steinkohlenwerke	Förderung	Belegschaft	Anzahl der				Auf 1 Million Tonnen Förderung kommen		Von 1000 Arbeitern wurden durch schlagende Wetter		Tödtlich verunglückt	
		t		Explosionen	Todten	Verletzten	Beschädigten	Explosionen	Beschädigte	getödtet	beschädigt	überhaupt Mann	davon durch schlagende Wetter Proc.
1888	172	33 223 614	105 445	73	18	90	108	2,20	3,2	0,17	1,02	306	5,88
1889	167	33 855 110	115 497	67	54	97	151	1,98	4,46	0,47	1,31	330	16,36
1890	177	35 469 290	127 794	91	43	112	155	2,57	4,37	0,34	1,21	379	11,35
1891	175	37 402 494	138 739	86	109	155	264	2,30	7,06	0,79	1,90	454	24,00
1892	176	36 853 502	142 247	75	47	120	167	2,03	4,53	0,33	1,17	363	12,95
		176 804 010	629 722	392	271	574	845	2,22	4,78	0,43	1,34	1 832	14,79
1861 bis 1887		458 124 985	1 869 851	1 564	1 129	2 247	3 376	3,41	7,37	0,60	1,81	6 329	17,84

[1]) Hoppe-Seyler erwähnt, daß das Vorhandensein entzündbarer Luft in Steinkohlenflötzen und ihr Ausströmen bei der Gewinnung der Steinkohle, sowie das Ausströmen entzündlicher Gase aus Sümpfen, Seen u. dgl. bereits im vorigen Jahrhundert in weiteren Kreisen bekannt war, schon vor dem Briefe von Alexander Volta an seinen Freund, den Pater Campi, vom 14. November 1776, welcher diesen Gegenstand behandelt; doch ist Volta als der eigentliche Entdecker dieser Naturerscheinung anzusehen, um so mehr, als er zum ersten Male die chemischen Eigenschaften des entwickelten Gases untersucht und dabei gefunden hat, daß dasselbe in bestimmten Volumenverhältnissen mit atmosphärischer Luft gemischt werden muß, um eine möglichst starke Explosion bei der Entzündung der Mischung zu bewirken. Auch hat Volta festgestellt, daß diese entzündbare Luft nicht bloß in unter Wasser stehendem Lande, sondern auch in solchem Boden sich entwickelt, welcher nur sehr wenig vermodernde Pflanzenstoffe enthält; er erkannte ihr Fehlen in solchem Boden, der keine organischen Stoffe einschließt, und ihr reichliches Vorkommen in jeder Erde, welche an pflanzlichen und thierischen Resten reich ist (J. 1886, 1060).

Vergleicht man die durch schlagende Wetter in den wichtigeren Staaten Europas in dem Jahrzehnte 1871 bis 1880 verursachten Tödtungen, so ergiebt sich Folgendes:

Preußen	324 Mann,
Großbritannien	2686 „
Belgien (1871 bis 1879)	426 „
Frankreich	513 „
Oesterreich (1875 bis 1880)	61 „
Sachsen	161 „
Zusammen	4471 Mann.

Daher erforderte der Steinkohlenbergbau, der in zehn Jahren überhaupt 21 256 Menschenleben kostete, von dieser Zahl allein 4471 oder 21 Proc. durch Explosionen von schlagenden Wettern[1]).

Nach Haslacher[2]) hätten die von 1861 bis 1881 in Preußen vorgekommenen 332 Explosionen vermieden werden können, wenn die Wetterversorgung so reichlich und vollständig gewesen wäre, um alle auftretenden schlagenden Wetter bis zur Unschädlichkeit verdünnen und fortführen zu können. Der Wetterwechsel besteht immer in einem in derselben Richtung ununterbrochen durch die Grube streichenden Luftstrome oder Wetterstrome, welcher entweder dadurch bewirkt wird, daß man von Tage aus unter Druck frische Wetter in den Wetterstrom hineinbläst, oder durch Verdünnung der Grubenwetter dieselben aus der Grube heraussaugt und statt ihrer an dem entgegengesetzten Ende des Wetterstromes frische Wetter einfallen läßt.

Trotz des besten Wetterwechsels ist die Beschaffung guter Sicherheitslampen[3]) und passende Sprengmittel[4]) sehr wesentlich.

[1]) Vgl. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 29, 283 u. 379; 30, 144; 33, 339; Berg- u. Hüttenm. Jahrb. 1881, 194. — [2]) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenk. 30, 378. In 146 Fällen war die Ursache offenes Geleucht, in 44 das unbefugte Oeffnen der Sicherheitslampe, in 7 der verbotene Gebrauch von Feuerzeug, also in 197 Fällen eine offene Flamme, welche sich hätte vermeiden lassen. In 74 Fällen traf die Schuld die geschützte Flamme, d. h. die Sicherheitslampe selbst, nämlich in 19 das Schadhaftwerden der Lampe, in 11 das Glühendwerden des Drahtkorbes und in 44 das Durchschlagen der Flamme durch das Drahtnetz, und zwar 37 Mal in Folge heftiger Bewegung der Lampe und 7 Mal wegen zu großer Geschwindigkeit des Wetterzuges. In 66 Fällen war die Pulverflamme bei der Sprengarbeit Ursache der Entzündung, in einem Falle steckten sich die Wetter am Wetterofen an und in 8 Fällen blieb die Ursache unbekannt. Von diesen 340 Fällen waren in 219 die schlagenden Wetter durch langsame Entbindung entstanden, daher die Ventilation sehr mangelhaft gewesen sein muß; in 46 Fällen gab das Anhauen von Bläsern oder Gasklüften zu ihrem plötzlichen Auftreten Veranlassung, während in 42 Fällen die Ansammlung von Gasen, besonders im „alten Manne“, und in 27 Fällen Störungen der Ventilation das verstärkte Vorhandensein der schlagenden Wetter verursacht haben. Einfluß der Luftdruckänderung auf Explosionen s. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 29, 309 u. 380. — [3]) Vgl. Kreischer und A. Winkler: Sicherheitslampen; Polyt. Journ. 240, 50; Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 29, 359 und 369. — [4]) Vgl. Fischer's Jahresb. 1882, 1064; Berg- u. Hüttenm. Jahrb. 1881, 153; Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 29, 345; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1884, 790; 1885, 300.

Die Bedeutung des Kohlenstaubes[1]) für die Entstehung von Grubenexplosionen ist noch nicht völlig geklärt; jedenfalls werden aber weitaus die meisten Explosionen durch Grubengase veranlaßt oder doch eingeleitet.

Grubengase bestehen wesentlich aus Methan. Nach Schondorf[2]) bestand ein Bläser[3]) in dem zum Wälderthan gehörenden Kohlenwerk bei Obernkirchen aus:

Kohlensäure	2,56
Methan (CH_4)	60,46
Aethan (C_2H_6)[3])	37,62

Grubenwetter daselbst enthielten:

Kohlensäure	0,246	bis	0,097	Proc.
Methan	0,119	„	1,197	„
Aethan	0,011	„	0,347	„

Er gibt ferner folgende Analyse einer Grubenluft, in welcher die Lampen das Gas anzeigten, indem sie eine blaue Flammenhülle erkennen ließen:

Stickstoff	77,272
Sauerstoff	17,942
Kohlensäure	0,409
Methan	4,517
Aethan	0,063

Den ausführlichen Tabellen über die Grubenwetter in preußischen Steinkohlenbergwerken seien folgende Angaben entnommen:

---

[1]) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 29, 310; 32, 575; Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenk. 1885, 358 u. 472; 1886, 10; Annal. d. mines 15, 2; Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1879, 442; Fischer's Jahresb. 1882, 1064; 1885, 1206; 1887, 859. — [2]) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 24, 73; 31, 145 u. 435; 32, 509; 33, 277. Man nennt „Bläser“ eine Art von Gasquellen, deren Dauer mitunter zwar bloß ganz kurz ist, aber auch ebenso nach Monaten und Jahren zählen kann. In der Kohlengrube Tyne hat man einen Bläser gehabt, der während eines Jahres 168 bis 196 cbm Gas in der Minute ergab. Zu Wellesweiler (Saarbrücken) hielt ein Bläser während 50 Jahren an. Man hat selbst zu verschiedenen Zeiten das Gas zu Beleuchtungszwecken aufgefangen, und Jars führt im vorigen Jahrhundert ein Leuchtfeuer an der Küste von Whitehaven an, welches durch Grubengas gespeist wurde. Das Dorf Fredonia bei Buffalo war gegen 1830 durch eine Gasquelle beleuchtet, welche aus einer Kohlenschicht kam. Georg Stephenson hat von 1831 bis 1835 die Tagesanlagen der Grube Wilmington mit dem Gase eines Bläsers erleuchtet, welches in der Grube aufgefangen wurde. Aehnliche Beispiele finden sich noch heute in England. — [3]) Schulz hält das in Grubenwettern aufgefundene Aethan für besonders gefährlich, ohne aber eigene Versuche auszuführen (Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1883, 184).

Ort der Probenahme		Zusammensetzung der Wetter			Wettermenge pro Minute cbm	Zahl der		Durchschnitts-förderung pro Stunde t
		$O+N$	CO_2	CH_4		Arbeiter	Pferde	
Niederrheinisch-Westfälisches Steinkohlenbecken.								
1. Zeche Westfalia bei Dortmund, Schacht Kaiserstuhl, den 13. October 1882.								
Südlicher Wetterquerschlag in der Wettersohle	Ausziehender Gesammtstrom	98,664	0,246	1,090	1 053,00	210	8	75
Südlicher Wetterquerschlag in der Wettersohle	Ausziehender Strom des Flötzes P	99,325	0,117	0,558	195,00			
Oestliche Abbaustrecke Nr. 7 in der II. westlichen Abtheilung des Flötzes P über der Wettersohle	Vor Ortsstoß	97,627	0,247	2,126				
Westliche Abbaustrecke Nr. 4 in der II. westlichen Abtheilung des Flötzes P über der I. Tiefbausohle	Vor Ortsstoß: an der Firste	96,847	0,324	2,829				
	„ „ Sohle	98,839	0,150	1,011				
	gemischt	98,584	0,201	1,215				
2. Zeche Zollern bei Dortmund, den 24. October 1882								
Nördlicher Hauptquerschlag in der I. Tiefbausohle	Ausziehender Strom des Nordflügels	99,308	0,253	0,439	795,00	178	8	32,98
1,5 m aufgefahrenes Ueberhauen aus der östlichen Grundstrecke des Flötzes B, II. östliche Abtheilung in der II. Tiefbausohle		92,459	0,405	7,136				

Ort der Probenahme		Zusammensetzung der Wetter O + N	CO_2	CH_4	Wettermenge pro Minute cbm	Zahl der Arbeiter	Zahl der Pferde	Durchschnitts-förderung pro Stunde t
Westlicher Pfeiler Nr. 3 in der II. östlichen Abtheilung des Flötzes B über der II. Tiefbausohle	Vor Ortsstoß: am Pfeilerhöchsten	99,364	0,226	0,410				
	in der Pfeilermitte	99,585	0,165	0,250				
	in der Förderstrecke	99,693	0,167	0,140				
Hauptwetterüberhauen über der Wettersohle im Flötz Nr. 1	Ausziehender Strom des Südflügels	99,204	0,325	0,471	572,00	86	8	19,60
3. Zeche Pluto bei Wanne, Schacht I, den 11. November 1882.								
Nördlicher Wetterquerschlag in der Wettersohle	Ausziehender Strom von den nördlichen Flötzen	98,861	0,811	0,328	692,60	147	8	41,30
Oestliche Grundstrecke im Flötz Nr. 4 in der I. östlichen Abtheilung der III. Tiefbausohle	Vor Ortsstoß	99,875	0,092	0,033				
Oestliche Grundstrecke im Flötz Nr. 2 in der I. östlichen Abtheilung der III. Tiefbausohle	Vor Ortsstoß	99,908	0,058	0,034				
Nördlicher Hauptquerschlag in der II. Tiefbausohle	Theil des ausziehenden Stromes von den Vorrichtungsarbeiten in Flötz Nr. 8 zwischen der III. und II. Tiefbausohle	99,891	0,049	0,060				
Westliche Abbaustrecke Nr. 2 in der I. östlichen Abtheilung des Flötzes Nr. 8 über der III. Tiefbausohle								

Im Wettercanal zum Ventilator auf dem Wetterschacht Nr. 1	Ausziehender Strom des Wetterschachtes Nr. 1	98,264	0,977	0,759	462,00			
Im Wettercanal zum Ventilator auf dem Wetterschacht Nr. 2	Ausziehender Strom des Wetterschachtes Nr. 2	97,738	0,698	1,564	268,00			
Westliche Grundstrecke im Flötze C (II. R) Nordflügel in der 360 m-Sohle, westlich des tonnlägigen blinden Wetterschachtes	Ausziehender Strom aus der Tiefbauabtheilung	97,437	0,359	2,204	308,00			
Hauptquerschlag in der 360 m-Sohle im Sattelhöchsten von Flötz Nr. 4	Ansammlung von Schlagwettern an der Firste	85,217	0,096	14,687				
Westliche Grundstrecke im Flötz Nr. 13 (I. R) Nordflügel in der 250 m-Sohle	Durch den Förderschacht Nr. 2 ausziehender Strom des Westfeldes	98,830	0,520	0,650	86,00			
5. Zeche Westfalia bei Dortmund, den 30. Januar 1884.								
Südlicher Hauptquerschlag in der II. Tiefbausohle im Hangenden von Flötz B	Ausziehender Strom des Südfeldes	99,174	0,743	0,083	304,00	147	7	29,50
Nördlicher Hauptwetterquerschlag in der I. Tiefbausohle	Ausziehender Strom des Nordfeldes	98,875	0,519	0,606	208,00	152	4	25,00
Wetterquerschlag von Flötz Nr. 7 nach Flötz Nr. 16 in der II. östlichen Abtheilung der I. Tiefbausohle	Ausziehender Strom von den Flötzen Nr. 8, 9, 11 und 12 über der III. Tiefbausohle, sowie Nr. 9 und Nr. 16 über der II. Tiefbausohle	99,319	0,328	0,353	154,00	152	4	25,00
II. östlicher Theilungsquerschlag in der II. Tiefbausohle im Hangenden von Flötz Nr. 12.	Ausziehender Strom von den Flötzen Nr. 8, 9, 11 und 12 über der III. Tiefbausohle	99,628	0,252	0,120	106,00	116	4	15,00
Oestliche Abbaustrecke Nr. 7 in der II. östlichen Abtheilung auf Flötz Nr. 16 über der II. Tiefbausohle	Vor Ort:							
	an der Firste	95,869	0,775	3,356				
	in der halben Streckenhöhe	96,050	0,755	3,195				
	an der Sohle	97,702	0,589	1,709				

Ort der Probenahme		Zusammensetzung der Wetter			Wettermenge pro Minute cbm	Zahl der		Durchschnitts-förderung pro Stunde t
		C + N	CO_2	CH_4		Arbeiter	Pferde	
6. Zeche Unser Fritz, Schacht I, bei Wanne, den 9. April 1884.								
Nördlicher Querschlag in der I. Tiefbausohle, nahe beim Schachte	Ausziehender Strom des Westfeldes	99,304	0,302	0,394	147,00	108	4	16,50
Oestliche Grundstrecke im Flötz Nr. 6 in der I. östlichen Abtheilung der I. Tiefbausohle	Ausziehender Strom des Ostfeldes	99,216	0,406	0,378	258,00	131	6	26,50
Südlicher Querschlag in der I. Tiefbausohle im Liegenden von Flötz Nr. 6.	Ausziehender Strom des Südfeldes	99,146	0,496	0,358	344,00	103	3	18,25
Oestliche Grundstrecke auf Flötz Nr. 11 in der I. östlichen Abtheilung der I. Tiefbausohle	Ausziehender Strom der II. östlichen Abtheilung der Flötze Nr. 10, 11, 12 und 13 über der II. Tiefbausohle	99,289	0,326	0,385	222,00	82	2	14,00
Südlicher Querschlag in der I. Tiefbausohle im Liegenden von Flötz Nr. 11	Ausziehender Strom der südlichen Abtheilung der Flötze Nr. 12 und Nr. 13 Südflügel über der II. Tiefbausohle	99,108	0,585	0,307	132,00	21	1	4,25
Saarbrücker Steinkohlenbecken.								
Kgl. Steinkohlengrube König-Wellesweiler, Abtheilung König, den 1. August 1888.								
Oestliche Grundstrecke auf Flötz Waldemar aus dem Hauptquerschlage in der Saarsohle nördlich des Ventilatorschachtes	Ausziehender Strom des gesammten Westfeldes	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

aus dem I. westlichen Querschlage in der Saarsohle	und mittleren Partie des Westfeldes	98,994	0,530	0,476	198,54	169	4	21,60
I. westlicher Querschlag in der Saarsohle im Liegenden von Flötz After	Ausziehender Strom der liegenden Partie des Westfeldes	98,772	0,660	0,568	56,00	36	1	4,00
Südlicher Wetterquerschlag, südlich des Ventilatorschachtes in der Saarsohle	Ausziehender Strom des gesammten Ostfeldes	99,338	0,346	0,316	1213,00	548	4	73,30
I. östlicher Hauptquerschlag im Liegenden von Flötz Grolmann in der Saarsohle	Ausziehender Strom der liegenden Partie des Ostfeldes	99,448	0,358	0,194	443,66	237	2	34,60
Zeche Ver. Glückhilf bei Waldenburg (Schlesien), den 8. September 1883.								
Im Ventilatorgehäuse am Hedwigschacht	Gesammtausziehender Strom vom Hedwig-Schachtsystem	99,156	0,511	0,333	819,00	400	—	80,00
Luftzuführungsraum des Guibal-Ventilators am Wrangel-Schacht	Ausziehender Strom vom Wrangel-Schachtsystem	99,414	0,311	0,275	892,00	201	—	38,00
Wetterschwebende, zu Bremsberg I im Flötz Nr. 5 gehörig, zwischen der II. und I. Tiefbausohle nördlich des Wrangel-Schachtquerschlages	Dieser Strom ventilirt die Vorrichtungs- und Abbauarbeiten im Flötz Nr. 5 zwischen der III. und II. Tiefbausohle	99,118	0,142	0,740	165,43	25	—	7,00
Zeche Cons. Friedenshoffnung bei Waldenburg, den 8. September 1883.								
Hauptwetterstrecke im Flötz Nr. 3 in der IV. Tiefbausohle (Wettersohle) südlich des Ventilatorschachtes	Ausziehender Strom von Flötz Nr. 2, 3, Starkesflötz und Nr. 4 im Baufelde südlich des Hauptsprunges	98,729	0,353	0,918	375,22	239	—	28,50
Südlicher Querschlag Nr. 2 von Flötz Nr. 2 nach dem Straßenflötz in der Wettersohle	Ausziehender Strom vom Straßenflötz im Baufelde südlich des Hauptsprunges	98,720	0,297	0,983	103,45	25	—	0,40
Streichende Strecke Nr. 6 im Flötz Nr. 5, im Bereiche des Bremsschachtes Nr. I auf Flötz Nr. 4 in der V. Tiefbausohle	Dieser Strom ventilirt auf Flötz Nr. 5 die streichende Strecke Nr. 6 und die Wetterstrecke auf diesem Flötz auf eine Länge von etwa 500 m	98,683	0,119	1,198	133,40	6	—	0,35

A. Winkler[1]) fand in Grubenluft bis 0,2 Proc. Methan und 2,7 Proc. Kohlensäure. Eine Grube lieferte täglich bis 1043 cbm Methan und 8000 cbm Kohlensäure.

Förster und Winkler[2]) fanden in der Grubenluft bei Zwickau nur 0,003 bis 0,077 Proc. Methan.

J. Mauerhofer[3]) bespricht die verschiedenen Versuche zur Verwerthung der Grubengase. Dieselben enthielten 2 bis 2,9 Proc. Kohlensäure und 88,8 bis 95 Proc. Methan; sie wurden probeweise zur Beleuchtung mit Magnesiakämmen verwendet.

Playfair[4]) fand:

	Sumpfgas	Stickstoff	Sauerstoff	Kohlensäure	Wasserstoff
Walsend (Bensham)	77,50	21,00	—	1,30	—
„ (pipe above ground)	92,80	6,90	0,60	0,30	—
Hebburn (24 feet below Bensham)	91,80	6,70	0,90	0,70	—
„ (ditto a month after)	92,70	6,40	—	0,90	—
„ (Bensham)	86,50	11,90	—	1,60	—
Jarrow (Bensham)	83,10	14,20	0,40	2,10	—
„ (five quarter) . . .	93,40	4,90	—	1,70	—
„ (low main)	79,70	12,13	3,00	—	3,00
„ (low main)	70,70	15,30	8,00	2,00	—
Well gate (five quarter seam)	98,20	1,30	—	0,50	—

Thomas[5]) fand in Kohlengruben von Wales:

	Sumpfgas	Stickstoff	Kohlensäure	Sauerstoff	Aethylwasserstoff
Bläser	97,65	1,85	0,50	—	—
„	96,74	2,79	0,47	—	—
„	94,84	5,06	0,10	—	—
„	95,05	0,69	4,26	—	—
„	47,37	41,58	0,90	10,15	—
„	95,47	3,91	0,62	—	—
„	95,51	2,53	1,96	—	—
„	94,78	3,60	0,72	—	0,90
„	95,56	3,98	0,35	0,11	—
Bohrloch in der Kohle	97,31	2,31	0,38	—	—
„ „ „ „	96,54	3,02	0,44	—	—
„ „ „ „	74,86	20,30	0,15	4,69	—
„ „ „ „	97,37	2,21	0,42	—	—
„ „ „ „	95,42	3,98	0,60	—	—

Beim Erwärmen der Kohlenproben auf 100° entwickelten sie nach Thomas in der Luftleere

[1]) Fischer's Jahresb. 1882, 1062. — [2]) Jahrb. f. Berg- u. Hüttenw. Sachsen 1883, 96. — [3]) Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1893, 300. — [4]) Vgl. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenk. 29, 286. — [5]) Journ. Chem. Soc. 13, 812 u. 820.

Menge des im luftleeren Raume bei 100° entwickelten Gases	Kohle	Methangas	Stickstoff	Sauerstoff	Kohlensäure
55,9 ccm	Bituminöse Kohle . . .	—	62,78	0,80	36,42
61,2 „	„ „ . . .	0,40	80,11	2,72	16,77
55,1 „	„ „ . . .	63,76	29,75	1,05	5,44
24,0 „	„ „ . . .	2,68	69,07	6,09	22,16
39,7 „	„ „ . . .	31,98	56,34	2,25	9,43
73,6 „	Halbbituminöse Kohle . .	72,51	14,51	0,64	12,34
194,8 „	Dampfkessel-Kohle . . .	87,30	7,33	0,33	5,04
250,1 „	„ . . .	81,64	4,66	0,49	13,21
218,4 „	„ . . .	84,22	9,88	0,44	5,46
147,4 „	„ . . .	67,47	12,61	1,02	18,90
375,4 „	„ . . .	83,92	3,49	0,34	9,25
149,3 „	„ . . .	73,47	14,62	0,56	11,35
215,4 „	„ . . .	82,70	11,12	0,54	5,64
555,5 „	Anthracit	93,13	4,25	—	2,62
600,6 „	„	84,18	1,10	—	14,72

Gasgehalt der Braunkohle untersuchte J. W. Thomas[1]). Blätteriger Lignit. Erhitzen auf 50° von 100 g durch 12 Tage gab 56,1 ccm Gas, bestehend in 100 Thln. aus 87,25 CO_2, 0,24 O, 3,59 CO und 8,92 H_2O. Von einem zweiten, auf 50° erhitzten Muster wurden 100 g 18 Tage auf 100° erhitzt; es wurden 59,9 ccm Gas freigemacht, das aus 89,53 CO_2, 5,11 CO, 0,33 C_nH_{2n} und 5,03 N bestand. Erhitzen auf 150° führte Zersetzung herbei; unter den Producten fanden sich Mercaptan, Schwefelallyl und andere geschwefelte organische Körper vor. Bei 200° wurden etwa 18 ccm Gas erhalten, die, vorzüglich in den zuletzt übergehenden Theilen, aus 82,06 CO_2, 2,82 H, 14 CO, 0,49 C_2H_4, 0,48 C_3H_6 und 0,27 N bestanden. Schon bei 100° schwärzte sich das Quecksilber der Sprengelpumpe; bei 250° war die Einwirkung des Schwefels auf das Quecksilber so heftig, daß die Fallröhre der Pumpe verstopft wurde.

Dichter, brauner Lignit. Erhitzen auf 50° (gleichfalls von 100 g) gab 48,5 ccm aus 96,23 CO_2, 0,11 O, 2,42 CO, 1,24 N und einer Spur C_nH_{2n} bestehendes Gas. Bei 100° sublimirte Schwefel in kleinen Krystallen und bei 185° trat Zersetzung ein. Bei 200° freigemachtes Gas enthielt 86,30 CO_2, 7,41 CO, 2,08 C_nH_{2n}, 3,34 CH_4, 0,53 C_3H_8 und 0,34 N.

Dichter, erdiger Lignit, ohne holzartige Structur, von schwärzlicher Farbe, an den Spaltflächen reichlich mit Eisenoxyd belegt. Zersetzung begann bei 180°. Die bei 200° entbundenen Gase waren 0,41 H_2S, 91,68 CO_2, 0,41 C_nH_{2n}, 7,12 CO, 0,38 N und Spuren von H.

E. v. Meyer[2]) erhitzte die Kohlenproben unter Wasser auf 100° und untersuchte die entweichenden Gase. Die volumprocentige Zusammensetzung der Gase zeigt folgende Tabelle. Kohlenwasserstoffe fehlten bei der Burgk-Kohle, sonst sind sie meist in großer Menge vorhanden.

---

[1]) Chem. News 1877, 249. — [2]) Journ. f. prakt. Chem. 5, 144 und 407; 6, 360; Wagner's Jahresb. 1872, 890; 1873, 957.

	CO_2	O	N	CO	CH_4	C_2H_6	Schwefelsäure absorbirt	10[illegible] gab[illegible]
Plauen.								
Schacht Burgk, harter Schiefer	48,7	1,8	49,5	—	—	—	—	—
„ „ weicher Schiefer	38,2	1,2	60,6	—	—	—	—	—
„ „ Maschinen-Schiefer	54,9	1,2	43,9	—	—	—	—	—
Zwickauer Brückenberg.								
Schichtenkohle aus 700 m Teufe. Frischer Anbruch, sehr dichte, ausgezeichnet schiefrige Kohle	2,42	2,51	23,17	—	71,90	—	—	3[illegible]
Zachkohle aus 680 m Teufe. Frischer Anbruch, schiefrig, glänzende matte Schichten Pechkohle	4,02	0,62	50,36	—	45,00	—	—	25,[illegible]
Zachkohle aus 656 m Teufe. 1½ Jahr dem Wetterstrom ausgesetzt, etwas verwittert erscheinend, Bruch im Innern glänzend	2,25	0,70	23,89	—	73,16	—	—	15,6[illegible]
Lehekohle aus 560 m Teufe. Frischer Anbruch, harte schiefrige Kohle von glänzendem Bruch	0,60	Spur	48,00	—	51,40	—	—	54,[illegible]
Schichtenkohle, fünf Jahre dem Wetterstrom ausgesetzt	16,70	4,90	55,15	—	3,17	18,61	1,47	15,[illegible]
Dieselbe, eine Woche später untersucht	11,40	3,80	60,98	—	3,44	18,88	1,50	—
Dieselbe, zwei Wochen später untersucht	12,10	1,10	65,16	—	3,19	16,85	1,60	—
Lehekohle, fünf Jahre dem Wetterstrom ausgesetzt	7,62	2,44	50,75	—	15,88	22,35	0,96	13,6[illegible]
Dieselbe, eine Woche später untersucht	10,10	2,60	50,53	1,82?	10,18	23,32	1,45	—
Dieselbe, zwei Wochen später untersucht	11,18	2,82	67,99	—	—	16,36	1,65	—
Westfalen.								
Gaskohle von Zeche Zollverein	7,50	2,59	89,91	—	—	—	—	22,5[illegible]
„ „ „ Consolidation	2,56	4,11	58,48	—	24,85	—	—	17,4[illegible]

	CO_2	O	N	CO	CH_4	C_2H_6	Schwefelsäure absorbirt	100 g Kohle gaben Gase ccm
tkohle von Zeche Constantin:								
ötz Sonnenschein, frisch deut-ich geschichtet, etwas Schwefel-ies enthaltend	4,87	2,66	75,82	—	16,65	—	—	50,6
selbe, jahrelang dem Wetter-trom ausgesetzt	11,12	2,88	78,60	—	7,40	—	—	43,2
ötz Dickebank, frisch, der vori-gen sehr ähnlich	2,18	2,12	70,51	—	25,19	—	—	43,3
selbe, jahrelang dem Wetter-trom ausgesetzt	15,84	3,06	74,53	—	6,57	—	—	41,2
ötz Präsident, frisch, undeut-ich schiefrig, mürbe, reich an Faserkohle	5,82	1,99	60,62	—	31,57	—	—	59,2
selbe, jahrelang dem Wetter-trom ausgesetzt	7,68	2,24	86,77	—	3,31	—	—	43,6
ötz Wilhelm, frisch, undeutlich geschiefert, stellenweise faserig graphitglänzend	1,30	1,60	66,85	—	30,25	—	—	54,4
selbe, jahrelang dem Wetter-trom ausgesetzt	4,35	3,35	81,18	—	11,12	—	—	39,2
ötz Franziska, frisch, deutlich geschiefert, reich an Schwefel-ies	2,02	0,90	86,43	—	10,65	—	—	54,5
selbe, jahrelang dem Wetter-trom ausgesetzt	2,15	3,14	91,28	—	3,43	—	—	39,6
ötz Leonhardt, frisch wie die vorige	3,72	0,39	90,19	—	5,70	—	—	42,0
selbe, jahrelang dem Wetter-trom ausgesetzt	8,49	3,57	87,94	—	Spur	—	—	36,4
Saarbrücken (Grube Kronprinz).								
Wahlschieder Flötz.								
ubenluft	4,05	15,17	78,13	—	2,65	—	—	—
hle 120 m tief (zwei Wochen nach d. Fördern). Regelmäßig geschichtet, reich an Schwefel-kies. Aussehen verwittert .	8,51	0,25	23,55	—	63,86	3,88	—	—
hle 120 m tief (zehn Wochen gelagert), s. Nr. 4	33,66	0,81	36,73	—	24,08	4,72	—	42,0
hle 152 m tief (zwei Wochen). Weniger hart und ärmer als Nr. 4	4,85	—	22,27	—	72,88	—	—	—

	CO_2	O	N	CO	CH_4	C_2H_6	Schwefelsäure absorbirt	100 g Kohle gaben Gas ccm
Schwalbacher Flötz.								
Kohle 116 m (drei Wochen). Deutlich geschichtet, nicht sehr stark und verhältnißmäßig arm an Schwefelkies . . .	4,57	0,26	37,41	—	51,84	4,92	—	—
Kohle 116 m (fünf bis sechs Wochen), s. Nr. 7	49,85	1,39	33,62	—	15,04		—	32,0
Kohle 156 m (drei bis vier Wochen). Mürbe, von verwittertem Aussehen, reich an Schwefelkies	38,05	1,16	32,40	—	15,06	13,06	—	19,0
Kohle 110 m (fünf Wochen). Ziemlich hart, regelmäßig geschichtet	29,50	3,09	45,49	—	12,44	9,48	—	25,0
Kohle 148 m (vier Wochen). Unregelmäßig geschichtet, auf den Bruchflächen zahlreiche Verwitterungsproducte (von Schwefelkies) zeigend . . .	15,22	0,56	32,10	—	52,12	—	—	22,5
Grube Geislautern.								
Flötz Nr. 4 (sechs Wochen). Deutlich geschichtet, von stark verwittertem Aussehen . . .	19,19	0,97	38,68	—	37,94	3,22	—	26,0
Flötz Nr. 5 (acht Wochen). Unregelmäßig geschichtet, reich an Schwefelkies, viel Faserkohle enthaltend	35,66	2,63	48,64	—	9,46	3,61	—	21,2
Flötz Nr. 6 (sechs Wochen). Deutlich geschichtet, nicht sehr hart	26,12	1,20	17,03	—	55,65	—	—	53,0
Grube Gerhard.								
Flötz Anna (vier bis fünf Wochen). Nicht geschichtet, sehr hart und von glänzendem muscheligen Bruch	Spur	—	8,24	—	91,76	—	—	188,0
Flötz Sophie (vier bis fünf Wochen). Beschaffenheit der vorigen	1,83	—	7,38	—	90,79	—	—	158,0
Flötz Max (vier bis fünf Wochen). Beschaffenheit der vorigen	2,90	—	7,27	—	89,93	—	—	180,0

Neuerdings wurden von W. Mc. Connel[1]) fünf Proben staubfreie Stückkohle von Ryhope erhitzt, und zwar die erste durch 5 Stunden auf 40 bis 70°, die zweite durch 19 Stunden auf 70 bis 92°, die übrigen durch 44, 24 und 27 Stunden auf 100°. Dabei ergaben 100 g Kohle 81,8 ccm Gase, deren allgemeine Zusammensetzung die folgende war:

Kohlensäure	0,72	Proc.
Sauerstoff	9,41	"
Gase der Methanreihe	16,91	"
Andere Kohlenwasserstoffe	0,00	"
Stickstoff	72,95	"

Dann zerkleinerte man gleiche Kohle zu feinem Pulver, von welchem 208 g, durch 26 Stunden im luftleeren Raume auf 100° erhitzt, 109 ccm Gas von folgender Zusammensetzung ergaben:

Kohlensäure	0,85	Proc.
Sauerstoff	6,95	"
Kohlenoxyd	Spur	
Gase der Methanreihe	18,40	"
Andere Kohlenwasserstoffe	1,10	"
Stickstoff	72,70	"

Wahrscheinlich werden Gasgemenge dieser beiden Arten bei der ersten Einwirkung der Explosionswärme aus dem Kohlenstaub frei und folgt denselben sofort weiteres, durch theilweise Destillation des Staubes entbundenes Gas nach, so daß eine beständige Entwickelung stattfindet, ohne daß die Kohle selbst verbrennt. Bei 100° wird auf keinen Fall das ganze in der Kohle eingeschlossene Gas frei. Bei einem folgenden Versuche setzte man 90 g Ryhope-Kohle zuerst in 2 Thln. durch bezw. 44 und 34 Stunden der Wasserdampfhitze aus und erhielt dadurch 122,2 ccm Gas auf 100 g Kohle; dann wurde die Kohle abermals, und zwar durch 12 Stunden erhitzt, bis alle Gasentwickelung aufhörte. Ferner setzte man dieselbe durch 14 Stunden, bis zum Aufhören der Gasentbindung, einer Temperatur von 130° und sonach in gleicher Art einer solchen von 184° aus, und erhielt dabei Gasmengen von 20 und 7 ccm von nachstehender Zusammensetzung in Volumtheilen:

	bei der Temperatur von	
	130°	184°
Kohlensäure	8,5	5,8
Sauerstoff	4,0	27,0
Kohlenoxyd	0,0	0,0
Gase der Methanreihe	9,9	4,6
Andere Kohlenwasserstoffe	1,8	0,0
Stickstoff	75,8	62,6

Endlich wurde wieder nach Aufhören der Gasentwickelung die Kohle gepulvert und bei 100° ergaben sich noch 34 ccm Gas mit folgenden Bestandtheilen:

---

[1]) Engin. 57, 144; Fischer's Jahresb. 1894, 10.

Kohlensäure	4,4
Sauerstoff	1,2
Kohlenoxyd	1,0
Gase der Methanreihe	37,7
Andere Kohlenwasserstoffe	2,6
Stickstoff	53,1

Die mit einer Dampfkesselkohle von der Grube Seaton Delaval ausgeführten Proben lieferten andere Resultate. Bei Erwärmung einiger Partien bis auf 100° entwickelte sich eine bedeutende Menge Gas von der mittleren Zusammensetzung:

Kohlensäure	10,26
Sauerstoff	8,03
Stickstoff	82,20

Bei Behandlung von Stückkohle erhielt man mehr Kohlensäure und weniger Sauerstoff, aber keine Methane und sonstigen Kohlenwasserstoffe.

Kohlenbildung.

So lange Steinkohlen verwendet werden, hat man sich auch mit der Frage nach der Herkunft derselben beschäftigt. Agricola[1]) bezeichnet die Steinkohle als einen in der Erde verhärteten fetten, harzigen, mit schwefliger Materie verhärteten Saft. Encelius hält die Steinkohle für veränderten Torf. Nach C. A. Scheidl[2]) bestehen die Steinkohlen „aus einer wässerigen Feuchtigkeit, einem scharf schmeckenden Schwefelgeiste, einem doppelten Erdöle, einem sauren Salze, und einer lockeren Sumpferde". Büntingen (a. a. O. S. 34 u. 40) bestreitet entschieden, daß Steinkohle aus untergegangenen Wäldern entstanden sei, er stellt (S. 48) die verschiedenen Ansichten über die Art der Kohlen zusammen und meint (S. 68), Steinkohle enthalte 1. Sal nitrosum chalcantinum, 2. Sulphus, quod inest bitumini, 3. Liquor meroulialis. Er hat bereits Steinkohle destillirt, der Gestank hat aber „das ganze Haus erfüllet, daß fast niemand bleiben können".

Seit etwa 100 Jahren nehmen die Untersuchungen und Theorien über die Bildung der Kohlen wissenschaftliche Form an. Die Aufzählung aller derselben gehört hier nicht wohl her und muß bezüglich derselben auf die geologischen Specialwerke[3]) verwiesen werden. Hier sollen daher nur die in den letzten 15 Jahren veröffentlichten Arbeiten in der von den betreffenden Verfassern beliebten Form mitgetheilt werden, um ein Bild der heutigen Ansichten über Kohlenbildung zu geben[4]).

---

[1]) Natura fossilium 4, 594. — [2]) Medicus, Steinkohlen, S. 161; aus Abh. d. Chur-Bayer. Akad. d. Wissensch. 1, 169. — [3]) C. F. Zinken, Physiographie der Braunkohle (Leipzig 1867); H. Wietzsch, Geologie der Kohlenlager (Leipzig 1875); W. Runge, Ruhr-Steinkohlenbecken (Berlin 1892). — [4]) Nur der Absonderlichkeit wegen mögen auch die Behauptungen von Kleinschmidt (Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1887, 78) erwähnt werden, welche sich wesentlich auf die Behauptung von Hirshing stützen, daß eine fortwährende Rückbildung von Kohle aus

Nach J. S. Newberry[1]) ist jede Bemühung, eine Steinkohle, eine Braunkohle oder einen Anthracit zu definiren oder zu beschreiben, thöricht, weil dieselbe weder eine feste Zusammensetzung hat, noch eine bestimmte Substanz ist, sondern einfach einer conventionellen Gruppe von Substanzen angehört, welche einen Theil von einer unbegrenzten und untheilbaren Reihe von Körpern ausmachen. Er gibt hierfür folgende Uebersicht:

Verbleibende Producte	Flüchtige Producte	
Torf		
Braunkohle		
Bituminöse Kohle	Kohlensäure	
Halbbituminöse Kohle	Kohlenoxyd Kohlenwasserstoffgas u. s. w. Wasser	
Anthracit		Maltha
Graphitischer Anthracit		Asphalt u. s. w.
Graphit	Petroleum	Asphaltische Kohle
Asche		Asphaltischer Anthracit
		Asphaltischer Graphit.

Torf. Trockene Pflanzensubstanz besteht aus etwa 50 Proc. Kohlenstoff, 44 Proc. Sauerstoffgas, etwas Stickstoffgas und 6 Proc. Wasserstoffgas. In einem Torfmoore finden wir den oberen Theil der Scala sehr deutlich dargestellt: Pflanzen mit der normalen Zusammensetzung von Cellulose wachsen an der Oberfläche. Die erste Torfschicht besteht aus gebräunten und zum Theil zersetzten Pflanzensubstanzen, welche vielleicht bereits 20 Proc. von den das Holz zusammensetzenden Stoffen verloren und einen größeren Kohlenstoffgehalt erlangt haben. Wenn wir in der Torfschicht weiter hinabsteigen, so finden wir sie homogener und dunkler, während wir an der Sohle des Moores, 3 bis 6 m von der Oberfläche, einen schwarzen kohligen Brei antreffen, welcher getrocknet einigen Sorten von Kohlen gleicht und denselben in der Zusammensetzung sich nähert. Dieser hat die Hälfte der Substanz der ursprünglichen Pflanze verloren und zeigt ein wesentliches Anwachsen des relativen Kohlenstoffgehaltes.

Braunkohle (Lignit). Jeder Zoll der Mächtigkeit des Torfmoores bildet eine Phase in der fortschreitenden Veränderung von Holzsubstanz zu Braunkohle, ein Ausdruck, mit welchem nicht nur verkohltes Holz, sondern der verkohlte Pflanzenstoff des Tertiärs, der Kreide, des Jura und der Trias bezeichnet werden soll. Die Braunkohlen oder jüngeren Steinkohlen gehören Torfschichten an, welche längere oder kürzere Zeit hindurch unter Thon, Sand oder festem Gesteine verbrannt worden und mehr oder weniger auf dem Wege der Verkohlung fortgeschritten sind. Wie bei dem Torfe, so bei der Braunkohle finden wir, daß sie in verschiedenen geologischen Niveaus verschiedene Stadien der Destillation darstellt. Die Tertiärkohle unterscheidet sich leicht durch den größeren Gehalt an Wasser und Sauerstoff, sowie

kohlensaurem Kalk stattfinden könne, daß also eine Cubikmeile Kalkstein 84 Millionen Tonnen Kohlen bilden könne. Kleinschmidt vergißt anzugeben, woher die erforderliche Wärme zur Zerlegung des $CaCO_3$ herkommen soll. — [1]) Annal. of the New-York Academ. of Science 1882; Berg- u. Hüttenm. Zeitung 1882, 439; ferner School of Mines Quarterly 1883; Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenk. 1883, 418.

durch eine geringere Menge von Kohlenstoff von den Kreidekohlen und diese dadurch wieder von der Triaskohle.

Alle Kohlen tertiären oder mesozoischen Alters werden unter einen Namen (Lignit) zusammengefaßt; es ist aber einleuchtend, daß sie von einander so verschieden sind, wie der neue und schwammige Torf von dem alten und ganz verrotteten in den Torfmooren.

Steinkohle. Nach Uebereinkunft nennen wir den Torf, welcher in der carbonischen Periode abgelagert worden ist, bituminöse Kohle. Eine Untersuchung der Steinkohlenschichten in verschiedenen Ländern hat gezeigt, daß die Torfschichten der carbonischen Periode, obschon wie andere etwas variirend, in der Art der Vegetation. aus welcher sie hervorgegangen sind, einen gemeinschaftlichen Charakter erkennen lassen, durch welchen sie von den jüngeren Kohlen sich unterscheiden, indem sie weniger Wasser enthalten, weniger Sauerstoffgas und mehr Kohlenstoff und gewöhnlich die Eigenschaft zu koken besitzen, welche die jüngeren Kohlen selten haben. Gleichwohl zeigen die carbonischen Kohlen eine große Verschiedenheit, und es würde thöricht sein, ihre Zusammensetzung durch eine einzige Formel ausdrücken zu wollen, indessen steht doch fest, daß die Steinkohlen auf der ganzen Erde bestimmte Gruppenmerkmale haben, an welchen sie erkennbar sind, das Resultat der langsamen Zersetzung der Substanz der in der Carbonzeit gewachsenen Pflanzen, welche durch eine umfassende und allgemeine Veränderung sich genähert haben den Producten einer bestimmten Phase der natürlichen Destillation des Pflanzenstoffs. Ein erfahrener Geologe wird nicht irre gehen in der Bestimmung des Horizontes einer Gruppe von Kohlen carbonischen Alter's, sowie von solchen der Kreide oder der Tertiärformation.

Anthracit. In der vorcarbonischen Periode war die Landvegetation offenbar nicht hinreichend, um mächtige und ausgedehnte Torfschichten zu bilden, aber Reste von Pflanzen kommen in allen älteren Formationen vor, obschon nur als Anthracit oder Graphit — die letzten der verbleibenden Producte.

Wir finden Graphitlager in den laurentischen Schichten von Canada und Anthracit in dem Untersilur von Upper Church und Kilnaleck in Irland.

Gümbel (vgl. S. 580) schreibt[1]), daß „gerade so wie bei der Torfbildung zweierlei Arten schon vorliegen, auch die Natur bei der Kohlenbildung verschiedene Wege eingeschlagen hat". Die Steinkohlenformation ist als Inlandsbildung anzusehen, entstanden in Thälern und Mulden des Festlandes oder auch in Niederungen an der Meeresküste. In diesen Vertiefungen und flachen Einsenkungen trat Moorbildung auf, die im Verein mit großen Ueberschwemmungen Anlaß zur Flötzbildung gab. Als mitwirkende Factoren können Einschwemmungen von Pflanzenmaterial aus den benachbarten höher gelegenen Wäldern angesehen werden, gerade so wie auch angenommen werden kann, daß „von der Sumpfvegetation selbst der in eine Art Fäulniß übergegangene Pflanzendetritus abgeschwemmt und den unter tieferem Wasser stehenden Stellen des Sumpfes zugeführt wurde". Kohlenflötze, die nicht dem Carbon angehören und sich zwischen marinen Ablagerungen finden, wie z. B. die Kohlenschmitze in den Gosauschichten des Brandenbergerthales nördlich vom Inn, deuten darauf hin, daß durch Flüsse ein Aussüßen einer Meeresbucht verbunden mit Einschwemmung von Pflanzenresten stattgefunden hat. Gleiches dürfte für ein Flötz bei Häring in Tirol und für die Kohlenlagerstätten von Miesbach, Pensberg u. a. O. in Bayern gelten, in welchen bituminöser Kalk mit brakischen Conchilien neben Landschnecken und Pflanzenresten eingelagert

[1]) Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wiss. 1883, 111.

erscheint. Diese Annahme einer allochthonen Seetorfbildung hält Winklehner[1]) nicht ganz gerechtfertigt, da mit dem Begriff Torf die Entstehung an Ort und Stelle verbunden ist, eine Bildung aus lebenden Pflanzen und nicht aus eingeschwemmten Pflanzenresten. In Sümpfen mag durch Einschwemmung von Pflanzenresten sich ein kohliger Schlamm am Grunde absetzen, nie aber wird ohne Mitwirkung lebender Moorvegetation eigentlicher Torf entstehen. Auf primärer Lagerstätte befindlicher Torf ist stets autochthone, nie allochthone Bildung (vgl. S. 433).

Lesquereux[2]) weist hin auf die Torfbildung, die in einem Wasserbecken vor sich geht, das zu tief ist, als daß eine gewöhnliche Hochmoorbildung vor sich gehen konnte. Auf der Oberfläche des Wasserbeckens vegetiren schwimmende Moose der Gattung Sphagnum und bilden bald bei der Raschheit ihres Wachsthums ganze schwimmende Decken mit stetig zunehmender Mächtigkeit. Bei der kurzen Lebensdauer dieser Wassermoose stirbt Pflanze für Pflanze ab, schwimmt eine Zeit lang auf der Wasseroberfläche, bis sie dann im schon zersetzten Zustande langsam niedersinkt, um, durch die überdeckende Wasserdecke vor dem Einflusse der Atmosphäre geschützt, dem eigentlichen Vertorfungsprocesse anheimzufallen. Die schwimmende Pflanzendecke erneut sich wieder und gewinnt in Folge des schnellen Wachsthums der Sphagneen stets an Mächtigkeit. Geringe Schlammeinschwemmungen, vereinigt mit dem durch Luftströmungen herbeigeführten Staube, genügen, um einen Boden zu schaffen, der nicht nur für Wasserpflanzen, sondern auch für verschiedene Grasarten und selbst Kräuter, wie Erica tetralix u. s. w., geeignet ist, so daß diese bald die schwimmende Vegetationsdecke überziehen und mit ihren vielverzweigten Wurzeln zu einem festen Ganzen verbinden. Die schwimmenden Sphagnumgewebe breiten sich vorerst nur an den Rändern des Wasserbeckens aus, dringen aber immer weiter vom Ufer weg, bis endlich die ganze Wasseroberfläche unter der Pflanzendecke verschwindet. Ist dieser Teppich von Sphagneen einmal mit Gräsern und Kräutern überzogen, so ist in Folge der auftretenden Humusbildung auch ein Boden für Bäume geschaffen, die zuerst nur vereinzelt gedeihen, im Laufe längerer Zeit aber selbst ganze Wälder entstehen lassen können, so daß an der Stelle des einstigen Wasserbeckens Birken, Erlen, Weiden, Fichten und Tannen in großer Zahl und wohl entwickelt angetroffen werden. Diese Waldvegetation unterliegt aber früher oder später dadurch, daß das Wachsthum der tragenden Decke nicht gleichen Schritt hält mit dem Wachsthum des Waldes, einer mechanischen Zerstörung, einem Zerreißen, so daß die mächtige Pflanzendecke sammt dem Walde untersinkt und von den Fluthen begraben wird, um einem Verkohlungsproceß anheimzufallen. Auf der nunmehr freien Oberfläche des Wasserbeckens beginnt übrigens der Vorgang der Ueberdeckung mit Moosgewebe auf's Neue und damit ist der Anstoß zur Wiederholung der geschilderten Vorgänge gegeben.

P. Reinsch (1881) hält die Kohlenflötze für Meeresalgenbildungen, wie

[1]) Berg- u. Hüttenm. Zeitung 1888, 417. — [2]) Report of the Geological Survey. U. S. 1886.

ja auch schon Mohr für Algenkohlen eintrat (vgl. S. 528). Nach C. E. Bertrand und B. Renault[1]) sind für die Bildung von Gaskohlen sogen. schwarze Wasser, welche Humus- und Ulminsäuren enthalten, erforderlich.

Bertrand meint, daß sich in einem stillen Waldsee schwarze und weiße, d. h. kalkhaltige Wasser ruhig mischen und dadurch die „ulmose“ Substanz gezwungen werde, sich amorph in Flocken niederzuschlagen, eingewehte oder eingeschwemmte Pflanzentheilchen dabei mit niederreißend. Diese ulmose Masse bildet jedoch an sich noch nicht die Kohle selbst, sondern liefert nur die braune Grundmasse derselben, in die alle anderen Bestandtheile eingebettet sind. Erwägt man, daß bei dieser Niederschlagsweise nothwendig auch das hinzutretende „weiße“ Wasser an seinem Mineralgehalte („Härte“) einbüßen wird, so erklärt sich, was Bertrand allerdings nicht berücksichtigt, hierdurch leicht der hohe Aschengehalt, den viele Bogheadkohlen aufweisen (z. B. von Torbanehill) und der sonst ganz räthselhaft wäre, da Bertrand ausdrücklich anführt, daß sich von eingeschwemmten klastischen Mineraltheilchen auch nicht eine Spur finde[2]). Die zweite von Bertrand geforderte natürliche Bedingung der Gaskohlenbildung nennt er „Wasserblüthen“ (fleurs d'eau), „zu gewissen Jahreszeiten und insbesondere die warmen, ruhigen, sehr hellen Perioden hindurch bedeckt sich die Oberfläche der ruhigen Gewässer mit mikroskopischer Vegetation, welche den Eindruck eines fetten oder eines staubigen Grüns macht. Kommt ein Gewitter, ein Windstoß, kürzere und kältere Tage oder höherer Wasserstand, so verschwinden die Wasserblüthen“. Unsere Wasserlinsendecken sind also nicht in Vergleich zu ziehen. In solcher Weise sollen sich in den Bildungs-Gewässern der Bogheadkohlen zeitweise ungeheure Mengen freischwimmender, vielzelliger Gallert-Algen eingestellt haben; von der Oberfläche regneten die Thallen derselben noch lebend auf den Grund (durch welche Veranlassung, ist nicht gesagt) und liefern deren Zellwände als jetzt goldgelb durchsichtige Körperchen die Hauptmasse der Bogheadkohlen; so soll ihre Masse in der Bogheadkohle von Autun, deren jetziges Volumen auf ein Sechstel des ursprünglichen geschätzt wird, 75 Proc. des Ganzen betragen, ihre Anzahl im Cubikcentimeter 250000 bis 1000000 Stück; für den Kerosenschiefer von Joadja Creek wird ihre Masse bis zu 90 Proc. steigend angegeben. Außer diesen Algen-Thallen finden sich als Bitumenlieferanten innerhalb der Kohlen noch ungeheure Mengen von Pollenkörnern und Sporenkapseln, eingeweht aus den umgebenden Wäldern. Cordaites-Pollen ließ sich bei Autun specifisch bestimmen, im Kerosenschiefer und Torbanit treten dagegen Sporen auf. Trotz ihrer gewaltigen Anzahl kommen die Pollenkörner und Sporen (bis zu 26000 Stück im Cubikcentimeter bei Autun, 11000 bis 219000 im Kerosenschiefer) an Masse doch kaum in Betracht.

Von accessorischen Bestandmassen treten außer den Pollen, Sporen und den schon erwähnten verkohlten Pflanzentheilen, welche die ulmose Grundmasse bei ihrer Präcipitation mit niederriß, nicht selten Excremente von Fischen und Amphibien auf, deren Koprolitenform nicht allein wunderbar erhalten ist, sondern innerhalb welcher auch noch die eigenthümlichen Bandwürmer und Bacterien erkannt werden konnten, ferner Fischkadaver in den verschiedensten Erhaltungszuständen (dagegen fehlen auffälligerweise Diatomeen), sowie eine stickstofffreie, asphaltähnliche Masse, Thelotit genannt, die tropfenweise zunächst bei der Kohlenablagerung, später auch auf Eintrocknungsspalten infiltrirt sein soll; durch Verwesung an Vegetabilien an der Oberfläche entstanden, soll sich der Thelotit, oft zugleich mit von ihm imprägnirten oder umhüllten Pflanzentheilen, im Wasser niedergeschlagen haben. Nachträglich auf Spalten infiltrirte Kieselsäure hat eigenthümliche Knötchen entstehen lassen. An einzelnen Stellen findet sich die Bogheadkohle erfüllt von einem besonderen, nun auch als gelbe Masse auftretenden Schleimpilze (Bretonia Hardingheni).

---

[1]) Memoire de Soc. Belge d. Géol. 7, 45. — [2]) Vgl. Glückauf 1894, 715.

Diese Verhältnisse waren also die Bedingungen für die Bildung bituminöser Kohle; so lange sie ungestört walteten, welche Periode Bertrand als eine einzige saison bezeichnet und in der er eine trockene Jahreszeit vermuthet, sei allemal ein ganzes Flötz von beliebiger Mächtigkeit entstanden. Trat eine Aenderung der Verhältnisse ein, so war auch das Niederschlagsproduct ein anderes, allerdings meist der Bogheadkohle immerhin nahestehendes oder verwandtes; so erscheint es ganz naturgemäß, daß Hangendes und Liegendes der bauwürdigen Flötze einen diesen ähnlichen Bestand besitzen und daß in ihnen auch, in Folge Wiedereintritts der erforderlichen Verhältnisse, linsenförmige Bestandmassen oder selbst ganze, wenn auch unbauwürdige Flötze (so das bis zu 12 cm mächtige Flötz „faux Boghead" im Hangenden des constant 25 cm mächtigen abgebauten Flötzes von Autun) von normaler Algenkohle wiederkehren, umschlossen von algenarmen oder algenfreien Schichten; als solche finden sich bei Autun bituminöse Schiefer, die zahlreiche, secundär gebildete Krystalle (welcher Art?) und ferner Kieselnadeln enthalten, welche von einer einzelligen Gallertalge herstammen, deren Gallertmasse, im Gegensatze zu derjenigen der vielzelligen Algen, eine eigenthümliche Anziehungskraft oder chemische Wahlverwandtschaft für Kieselsäure besessen haben soll. Angehäufte Fisch- und Batrachierreste sind in diesen Schiefern stellenweise auch in eine gelbe Substanz umgewandelt, die von derjenigen vegetabilischer Abkunft nach dem Aussehen nicht unterscheidbar ist und Bertrand zu den Aussprüchen veranlassen: „Es gibt Kohlen animalischer Herkunft, in denen man wunderbare Erhaltungszustände findet" und „die hinreichend gallertigen oder von Schleim imprägnirten Coprolithen lieferten unter diesen Umständen auch eine animalische Kohle".

Diesen bituminösen Schiefern und der eigentlichen Bogheadkohle ist eben noch immer die „ulmose" Grundmasse und oft auch der Pollen- oder Sporenreichthum gemeinsam.

Treten auch diese zurück und zwar zu Gunsten verkohlter Pflanzenreste, von denen ja auch die Bogheadkohlen immer einen Theil als accessorische Bestandtheile führen, so resultirten mehr oder weniger normale Kohlenflötze; diese sehr gewöhnliche Verknüpfung liefert den Beleg dafür, daß die normale Kohlenbildung, etwa aus eingeschwemmten Baumstämmen nach der Erklärungsweise von Ochsenius, die protogene, am Vegetationsorte stattfindende Algenkohlenbildung nicht ausschließt, sondern beide Arten der Genese mit einander verknüpft sein können.

Nach v. Fritsch[1]) lassen die Kohlenflötze deutlich erkennen, wie die Braunkohle in wechselnden Lagen vertheilt und wiederum die Schweelkohle von der Feuerkohle sichtbar getrennt ist. Man meint, daß die Schweelkohle, welche wesentlich andere Eigenschaften als die Braunkohle besitzt, eine Kohle im eigentlichen Sinne des Wortes gar nicht sei. Insbesondere ist die Frage, ob zwei Stoffe von so wechselndem specifischen Gewichte durch Wasser von einander getrennt werden, oder ob sie zusammen entstanden und nach einander in Abwechselung sich gebildet haben. Nach Fritsch zeigte sich der Pyropissit[2]) in seiner reinsten, weißen Abart fast frei von dem Zellengewebe der Pflanzen, welches man in der Braunkohle mit großer Leichtigkeit nachweisen kann, nur amorphe harzige Theilchen findet man in der Schweelkohle. Erkennt man die Braunkohle als lediglich organische Gewebe mit den hinzutretenden Umwandlungsproducten an, so liegen in der Schweelkohle lediglich Kohlenwasserstoffe mit mehr oder weniger Harzgehalt vor, und letzteres mußte, wenn die Masse ins Wasser kam, sich nach und nach sondern von der eigentlichen Kohle,

---

[1]) Verhandl. d. deutsch. Bergmannstages in Halle 1889. — [2]) Vgl. Dingler 232, 465.

es mußte das leichtere Harz schwimmen und sich in besonderen Lagen absetzen, während die Kohle von größerem Gewicht ihre gesonderte Lage bildete. Die Richtigkeit dieser Theorie vorausgesetzt, könnte die Braunkohle bei Halle nicht an Ort und Stelle gewachsen, sondern müßte aus dem Wasser zusammengeschwemmt sein. Für ein solches Zusammenschwemmen spricht noch, daß sich in den Kohlen Gebilde maritimen Ursprungs finden. Wollte man die Braunkohlenflötze für an Ort und Stelle gewachsen, die mit ihnen wechsellagernden Meeresschichten aber für andere Gebilde erklären, so wäre man damit an eine stete Auf- und Niederbewegung des Bodens gebunden, welche aufsteigend eine Moorvegetation ermöglichte und niedergehend eine Bedeckung mit Sand und Thon herbeiführte. Für derartige Bodenschwankungen fehlen aber nachweisbare Belege, man müßte dann besonders Wellungen in bedeutend stärkerem Maße antreffen, als dies thatsächlich der Fall ist. Es muß vielmehr eine einheitliche Bewegung bei Bildung der Braunkohle angenommen werden, und diese kann man sich nur so denken, daß das Meer in ein mit zahlreichen Pflanzen bewachsenes Gebiet trat, daß es hier die ehemaligen Thäler füllte und von diesen weiter hinauf landeinwärts stieg, wo es sich mehr und mehr ausbreitete. Mit dieser Hypothese stehe die Erscheinung in gutem Einklange, daß das Gebiet mit den ältesten Meerthierresten im Verhältniß kleiner, als diejenigen Gebiete, in denen man den Meerthierresten mittleren Alters, und noch kleiner als diejenigen, in welchen man der oberen Thierwelt begegnet. Der fragliche Landstrich war zur Zeit der Braunkohlenbildung mit einer reichen Vegetation bedeckt, unter der sich auch viele tropische Pflanzen, wie Palmen, Lorbeeren u. s. w. befanden. Ein große Menge dieser Gewächse waren Träger von Harz, welches sich in der Schweelkohle zusammenhäufte. Aber nicht bloß Coniferen, sondern auch Laubholzarten, welche Harz lieferten, wie Wachsbäume, Feigen mit ihren großen Milchsaftgefäßen grünten in der dichten Vegetation jener Vorzeit, und in der That werden in der Braunkohle sehr viele Reste von Laubgefäßen nachgewiesen.

Nach W. S. Gresley [1]) sind die kohlebildenden Pflanzen nicht am Orte des jetzigen Flötzes gewachsen. In den Steinkohlenbecken von Leicestershire und Süd-Derbyshire fand er die Stigmarien, die Wurzelstöcke der Farrenbäume, nicht regelmäßig an den Liegendthon der Flötze gebunden, sondern in den Thonen ganz unregelmäßig vertheilt, weshalb sie selbständige Bildungen sein dürften. Wenn Stigmarienwurzeln mit einem Stamme in Verbindung waren, so lagen sie mehr im Hangenden als Liegenden des Flötzes. Andere Bedenken stützen sich auf die öfter beobachtete Abwesenheit des Liegendthones; auf die scharfe Trennung zwischen den Kohlenflötzen selbst und den daneben und darunter liegenden Flötzen; auf die ausgesprochene Schichtung (lamination) jedes Flötzes und seiner Trennung in Bänke von verschiedenem Mineralcharakter (insbesondere Aschengehalt, Glanz, Brennwerth), welche Trennung oft weithin zu verfolgen ist; auf die Einschlüsse von eingeschwemmten Geröllen; auf das örtliche Vorkommen von Wassermollusken, von Fischen u. dgl. in der Kohle selbst, sowie

[1]) Iron 30, 36. Fischer's Jahresber. 1887, 14.

auf den Umstand, daß viele Kohlenflötze von Steinsalz durchsetzt sind und daß mit ihnen manchmal marine Fossilien vorkommen.

Nach C. Ochsenius[1]) sind die Steinkohlenlager durch Zusammenschwemmen von Pflanzen gebildet. Die durch O. Lang[2]) angeführte Erklärung der Bildung bituminöser Kohle am Ausflusse der Nogat (vergl. Fig. 320 bis 323) bestätigt die Ochsenius'sche Theorie, sie trifft gewiß für

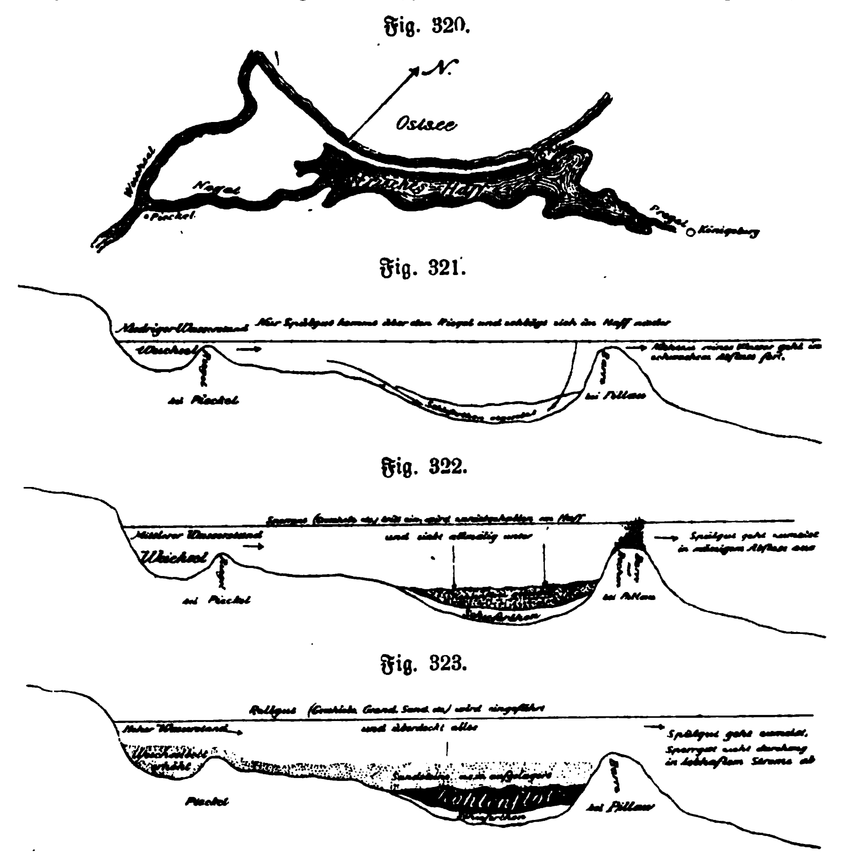


Fig. 320.

Fig. 321.

Fig. 322.

Fig. 323.

viele Kohlenablagerungen ein; Ochsenius' Ausspruche: Denken wir uns einen Strom, der aus einem großen Waldgebiete seine Zugänge erhält, einen Arm absendend, der einen nebenliegenden Landsee speist, und in dem Arme in der Nähe der Abzweigstelle einen Theilverschluß in Gestalt eines Querriegels, so lösen sich mit der Veränderlichkeit des Wasserstandes, bezw. des Flußbettes alle Räthsel der Kohlenbildung auf einfachste Weise — könnte man nach Büttgenbach[3]) ganz zustimmen, wenn statt der Kohlenbildung gesagt wäre: mancher Steinkohlenbecken (z. B. Sachsen, Saarbrücken) und aller Braunkohlenbildungen[4]).

[1]) Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1892, 67 u. 154; Glückauf 1894, 649. — [2]) Glückauf 1894, 715. — [3]) Ebend. 1894, 936. — [4]) Vergl. dagegen Fischer's Jahresb. 1895, 6.

Bei den rheinischen Braunkohlenlagern konnte nach Büttgenbach eine Ortsvegetation sicher nicht aufkommen auf einem Liegenden, welches, wie an den Ausläufern des rheinischen Vorgebirges, aus Sandschichten von 98 bis 99,5 Proc. Kieselsäure besteht. Die darauf lagernde Schicht Braunkohle, welche bis 30 m Mächtigkeit hat, zeigt Hölzer aller Art; gut conservirte Stämme liegen meist horizontal, oder in schwacher Neigung darin gebettet; vertical stehende kommen höchst selten vor und können auf dem sterilen Liegenden nicht gewachsen sein. Die Steinkohlenflötze verbreiten sich auf ungeheure Flächen von mehreren hundert Quadratmeilen bei annähernd gleichmäßiger Dicke, mit Zwischengliedern, welche sie von einander scheiden, die denselben Charakter auf der ganzen Fläche beibehalten. Die vorkommenden Verschiedenheiten sind durch spätere mechanische Einflüsse entstanden. Diese durch spätere starke Faltungen wenig geänderte Gestaltung spricht dafür, daß es eben die am Orte entstandene Vegetation war, welche dort versunken ist. Betrachtet man den Durchschnitt einer Steinkohlenablagerung, so zeigen sich die Linien, womit die Flötze angedeutet sind, in Streifen von so gleichmäßiger Dicke, daß in den Zeichnungen die Unterschiede nicht mal angegeben werden können; dagegen zeigen die Durchschnitte der Braunkohlenablagerungen, auch da, wo sie flötzartig vorkommen, daß man für sie die Bezeichnung „Flötze“ eigentlich nicht anwenden kann. Es sind vielmehr an einander gereihte Stöcke, welche in ihrer Mächtigkeit von 1 bis 50 m wechseln; wo sie mit dem flötzartigen Charakter auftreten, sind diese Streifen von so unregelmäßigen Gebilden, schwellen in kurzen Distanzen von einigen Kilometern auf das 10- oder 20fache ihrer Mächtigkeit an, und nehmen einige 1000 m weiter auch wieder so rasch ab. Sie stellen mehr flache, linsenförmige Einlagerungen, als eigentliche Flötze dar. Das müßte dann doch auch bei angeschwemmtem Steinkohlenmaterial der Fall gewesen sein.

Nach M. Williams[1]) ist die Steinkohle durch Umwandlung zusammengeschwemmter Baumstämme unter Wasser entstanden, und zwar ist diese Umwandlung durch den noch heute thätigen Bacillus Amylobacter erfolgt, welche Tieghem[2]) in der Kohle aufgefunden hat. Wenn Bruchstücke junger Coniferen im Wasser liegen, so entwickelt sich daran der Erreger der Buttersäuregährung, Bacillus Amylobacter, welcher die Gewebe angreift und die Zellenmembran unter Buttersäurebildung völlig auflöst, bis schließlich von der ganzen Wurzel nur die Cuticula und die Gefäße übrig bleiben. Zugleich hinterläßt der Bacillus im Innern des zerstörten Organes sichtbare Spuren seiner Thätigkeit. Man findet in den Lücken des Gewebes dünne Fäden in lebhafter Theilung, einzelne Stäbchen, welche sich krümmen oder eine glänzende Spore am Ende tragen. Nach beendeter Zersetzung findet man in der die verschwundenen Zellen ersetzenden Flüssigkeit eine sehr große Anzahl freier Sporen zusammengeballt oder frei herumschwimmend. Ph. v. Tieghem hat nun in Dünnschliffen, welche von B. Renault aus Gesteinen der Steinkohlenformation hergestellt wurden, sehr zahlreiche Coniferenwurzeln gefunden, welche große

---

[1]) Journal of Sciences 1880, 81; Fischer's Jahresber. 1880, 917. — [2]) Compt. rend. 89, 1102.

Aehnlichkeit mit Taxus und Cypressen haben. Dabei wurde dieselbe Zerstörung der Gewebe beobachtet, welche als letzten Rest nur die Cuticula und die Gefäße zurücklassen, indem sich dieselben Spuren fanden, von der lebhaften Entwickelung des Bacillus im Innern der angegriffenen Organe als dünne, in Glieder getheilte Fäden oder gekrümmte Stäbchen, von welchen oft jedes eine Spore trägt, oder aber zahllose freie Sporen, welche theils als wolkige Flocken in der die Lücken ausfüllenden Kieselsäure eingebettet, theils an der Cuticula und den Gefäßen angeklebt sind. In den Sümpfen der Steinkohlenperiode sind demnach die Pflanzen durch denselben Organismus zerstört, als dieses noch heute geschieht.

Nach W. Spring[1]) ist die Steinkohle, wie Torf, durch Vermoderung entstanden, da bei stattgefundenem Destillationsproceß wasserstoffreichere Producte hätten in das umliegende Gestein dringen müssen.

Petzold[2]) beobachtete, daß Piloten, welche den festen Untergrund (Dolerit) erreichten, über den Eisenschuh zusammengestaucht wurden und daselbst eine dickere Wulst aus zermalmtem Holze erhielten, die dreimal schwerer als ein frischer Pfahl von gleicher Länge ist; die beiden Dichten verhalten sich wie 1,066 : 0,500. Andere Pfähle wurden umgebogen, so daß der Schuh neben dem Pfahle nach aufwärts gerichtet ist, wobei jedoch ebenfalls die Wulstbildung auftritt. Ueberdies erschienen einige eingetriebene Pfähle am unteren Ende verkohlt. Petzold nimmt an, daß der Sitz der Verkohlung im Innern zu suchen ist und weist darauf hin, daß dieser Proceß insbesondere am untersten Ende dort vor sich ging, wo der Eisenschuh umgebogen und nach aufwärts gekrümmt ist. Diese Verkohlung unterscheidet sich jedoch von jener in Meilern, daß die gebildeten Destillationsproducte im vorliegenden Falle nicht entweichen konnten. Die genaue Untersuchung der kohligen Producte ergab sowohl Anthracit, als auch Braunkohle (nur hier deutlich erkennbares Pflanzengewebe im Dünnschliff sichtbar).

Nach Lallemand und Durand[3]) sind die böhmischen Braunkohlen unter Mitwirkung von Basaltausbrüchen aus Torf entstanden. In den Meeresstillen entwickelten sich unter dem Einflusse eines fast tropischen Klimas Wälder von Bäumen der heißen Zone, besonders von Palmen. Noch heute findet man die Reste dieser Vegetation unter der Form eines fetten, glänzenden, sehr reinen und sehr gesuchten Lignites, den man zu Salesl und Binova gewinnt. An diesen zwei Punkten zählt man nicht weniger wie 13 Kohlenlager von 80 und mehr Centimeter Stärke, die von Tuffbänken getrennt und nach allen Richtungen von Durchbrüchen glasiger Gesteine durchsetzt werden, die an den Berührungsstellen den Lignit in Koks verwandelt haben. Aber noch merkwürdiger ist die wunderbare Erhaltung, in welcher man, eingeschlossen im Tuff und in unmittelbarer Berührung mit den Kohlen, die fossilen Reste jener Flora antrifft, Stamm- und Stieltrümmer, Blatt- und Fruchtabdrücke u. s. w. Die Einwirkung der vulkanischen Ausbrüche auf die während der Tertiärzeit an-

[1]) Fischer's Jahresber. 1888, 9; Bull. soc. chim. 49, 11. — [2]) A. Petzold, Beitrag zur Kenntniß der Steinkohlenbildung (Leipzig, 1882). — [3]) Soc. de l'industr. minér. Oct. 1882; Berg- u. Hüttenm. Ztg. 1883, 153.

gehäuften pflanzlichen Massen erscheint im Lignitgebiet des nordwestlichen Böhmens nicht zweifelhaft. Ueberall, wo dieselben erfolgen konnten, sind die Pflanzenreste heute noch vollkommen erhalten und der Lignit gleicht hier beinahe der Steinkohle. In den Gegenden ohne Vulkanausbrüche dagegen sind kaum einige Spuren der alten Pflanzen übrig geblieben, deren Charakter fast unerkennbar ist.

Nach Grand' Eury[1]) gestattet die Zergliederung und Zersetzung der fossilen Pflanzen nicht die Annahme von heftigen mechanischen Wirkungen, welche durch die Ueberschwemmungen und Flüsse in Wirksamkeit treten. Die Zersetzung ging größtentheils an der Luft rasch vor sich und wurde durch die Maceration ergänzt. Die Desaggregation und Zerstreuung des Holzes als Faserkohle setzt sehr energische klimatische Einflüsse voraus. Die stärker als gewöhnlich ausgetrockneten Hölzer und Gewebe haben die Faserkohle gebildet. Die Zertrümmerung und der einer Auflösung ähnliche Proceß der Pflanzensubstanzen ging innerhalb der carbonischen Sümpfe sehr weit. Die in den Gesteinen liegenden Abdrücke wurden durch die Wässer aus der Nähe zugeführt und außerhalb der Ablagerungsflächen gelegenen Sümpfen oder denselben benachbarten überschwemmten Wäldern entnommen. Die in den Sümpfen vor dem Transport ausgelaugten und aufgeweichten Reste sind nicht lange geschwommen. Die auf die Rinde reducirten Stengel waren leer und gewöhnlich schon sehr zusammengefallen zur Zeit ihrer Ablagerung und Bedeckung mit Schlamm. Die abgeplattete Gestalt der Abdrücke und der körnige und leichte Zustand der Modersubstanzen waren ihrer regelmäßigen Ablagerung auf einer sehr großen Fläche günstig.

Die Kohle ist unstreitig pflanzlichen Ursprungs. Nach ihrer mechanischen Structur ist sie ein sedimentäres Gestein. Am Ort ihres Wachsthums befindliche Pflanzen sind in der Kohle nur die Stigmarien. Aber ihre Gegenwart setzt eine Ablagerung in tiefem Wasser voraus. Die Abdrücke treten in der Kohle auf gleiche Art abgelagert und geordnet auf, wie in den Schiefern, und nicht regellos verwirrt, sondern die Organe derselben Pflanzen noch anhängend oder wenigstens nahe bei einander, wie es der Fall wäre, wenn die Kohle aus einer Vegetation an Ort und Stelle entstünde. Die Pflanzensubstanz, welche die Kohle zusammensetzt, ist übrigens dieselbe, welche die Schiefer schwärzt und sie kohlig oder bituminös macht. Die Kohle ist aus einer langsamen und ruhigen Ablagerung der Producte der Zersetzung von Pflanzen entstanden. Diese Stoffe wurden riesigen sumpfigen Wäldern entnommen.

Einige Arten der Kohlenpflanzen konnten in den Ablagerungsflächen und auch während der Ablagerungen wachsen, so wie Pflanzen überschwemmter Gegenden. Die aufrechten Stämme und eingewurzelten Stöcke befinden sich am Orte ihres Wachsthums. Aber die fossilen Wälder zeigen die ursprünglichen carbonischen Wälder nur in abgeschwächter unterbrochener Ausdehnung; sie drangen zeitweise in die Ablagerungsbecken vor, ließen aber die Hügel und Höhen nackt, denn die carbonische Vegetation bestand ausschließlich aus Wasser-

---

[1]) Annal. des mines 1882. 185.

und Sumpfpflanzen. Die fossilen Wälder sind nicht durch reißende Ströme verwüstet worden, sie sind durch Zunahme der Wasserschichte abgestorben; die Stämme wurden fortgetragen, die zurückbleibenden Stöcke sind hohl.

Die Stöcke im Liegenden der Kohlenflötze sind in der Ebene der Liegend-Sohle abgeschnitten. Häufig setzen Bäume auf Kohlenflötzen auf, aber sie sind von ihnen unabhängig. Die fossilen Wälder begleiten die Kohlenflötze so wie auch die ruhig abgelagerten Schichten; sie deuten einfach an, daß zur Bildung der Kohlenflötze eine Ruheperiode nöthig war. Die fossilen Wälder sind übrigens vielen Schichten fremd und auf einige isolirte Bäume beschränkt.

In Bezug auf Entstehungsart ist der Lignit von der Braunkohle zu trennen, welche nicht aus Holz, sondern fast ganz auf analoge Art wie die Kohle gebildet worden ist. Sie hat sich am Grunde der Seen angehäuft, an deren Boden sich die hohen Gräser der Ufer ansammelten, denn es gibt in den Gesteinen fast keine am Orte ihres Wachsthums befindlichen Pflanzen. Der Lignit ist großentheils aus unverkohlten Hölzern zusammengesetzt, welche durch Ueberschwemmungen in Sümpfe geführt wurden. Die Gräser der Umgebung wurden ebenfalls durch die Ueberschwemmungen mitgerissen, wenn das zu tiefe Wasser ihnen nicht mehr gut gestattete, sich zwischen den abgelagerten Hölzern zu entwickeln.

Der Torf ist in Bezug auf die Bildungsbedingungen ebenfalls kein Product einer einzigen Entstehungsart (Gebirgstorf und Sumpftorf).

Die Kohle kann unbedingt nicht dem Sphagneen-Torf verglichen werden; die Torflager tiefer Sümpfe allein stellen in sehr unvollkommener Weise die Entstehung der Schwarzkohlen, und die Ablagerungen in Teichen die Entstehung gewisser blätteriger Braunkohlen dar. An die Bildungsart des Lignites erinnert höchstens der Torf sumpfiger Wälder.

Gegenwärtig herrscht die Entstehung von Brennstoffen durch Torfbildung; zur Zeit der Entstehung der Braunkohlen waren die limnischen Bildungen vorherrschend; die Schwarzkohle bildete sich überall gleichartig durch Anschwemmung in sich einsenkenden Becken, unter besonderen, zusammenwirkenden Umständen.

In allen geologischen Perioden bildeten sich in den Wasserbecken Brennstoffe durch Transport, aber mit von einer Epoche zur anderen sehr verschiedenen Mitteln und sehr ungleicher Wirksamkeit[1]).

Die experimentale Methode zur Feststellung der Entstehungsart der Kohle muß die Blätter-, Rinden- und Modersubstanzen zum Gegenstande ihrer Beobachtungen machen und die wirklichen Bedingungen der Umwandlungen berücksichtigen.

Die Umwandlung in Kohle hat mit den amylumhaltigen Substanzen begonnen und zuerst die ernährenden Zellgewebe und Rinden angegriffen. Die fossilen Pflanzenreste haben einen plastischen Zustand durchgemacht und haben diesen in den gewöhnlichen Gesteinen lange Zeit beibehalten. Der Grad der Umwandlung ist in den verschiedenen Gesteinen nicht der gleiche. An den

---

[1]) Vergl. Berg- u. Hüttenm. Jahrb. 1883, 342.

Contactflächen mit den Gesteinen hat keine Abgabe kohliger Substanzen stattgefunden; jene, welche die Gesteine schwarz färben, wurden in aufgelöstem Zustande mit dem Schlamm zugeführt. Die Modersubstanzen haben eine der aus der directen Umwandlung der Rinden und Blätter entstandenen analoge Kohle gebildet. Die in Kohle umgewandelten, sehr dichten und kohlenstoffreichen chlorophyllischen Gewebe haben keine sehr bedeutende Volumsreduction erfahren. Dasselbe gilt von den Flötzen.

Bei der Untersuchung durch Transparenz ist die amorphe Kohle der organisirten ähnlich; in der letzteren erfüllt der Zelleninhalt und die aufgelöste Hülle das Gewebe mit einer Art festen, flockigen und gelblichen Bitumens.

Die Kohle in Massen war ein homogener Teig und ist bei einer großen Consistenz viel länger geschmeidig geblieben als die Gesteine. Die Umwandlung in Kohle endete mit einer Austrocknung, welche der Kohle die Härte und den Glanz gegeben hat. Die Umwandlung in Kohle geschah unter Einwirkung schwacher Einflüsse.

Das Grubengas wird, auf irgend eine Art in den anderen Kohlenwasserstoffen aufgelöst, in der braunen Masse der transparenten Kohle zurückgehalten, welche an der Luft leicht gewisse leichte Kohlenwasserstoffe abgibt und beständigere Kohlenwasserstoffe enthält.

Der Aschengehalt hatte durch seine Menge und Beschaffenheit einen gewissen Einfluß bei der Umwandlung in Kohle.

Der Zustand der Zersetzung der Pflanzenreste im Augenblick ihrer Anhäufung in Flötzen war von bedeutendem Einfluß auf die Beschaffenheit der Brennstoffe; der Einfluß in Folge der botanischen Verschiedenheiten der Pflanzenreste war nahe gleich Null. Der Gang der Umwandlung in Kohle hat nicht alle durch die jüngeren Brennstoffe gekennzeichneten Uebergangsstadien durchschritten.

Die Umwandlung der Steinkohle geschah unter dem Einfluß einer nicht sehr hohen Temperatur. Die Umwandlung ging zuerst sehr rasch vor sich, bei einer höheren unterirdischen Temperatur als der der gegenwärtigen, besonders in größerer Tiefe. Der Gesteinsdruck hat wenig zur Umwandlung beigetragen. Die Dichtheit der Gesteine hat, indem sie die Gase zurückhielt, eine größere Wirkung auf die Beschaffenheit der Brennstoffe ausgeübt. Zu den Ursachen, welche der Schwarzkohle den anderen mineralischen Brennstoffen gegenüber so vortheilhafte Eigenschaften verliehen haben, gehört ihre Entstehung aus besonders kohlenstoff-, wasserstoff- und stickstoffreichen Rinden und Blättern, aus Modersubstanzen und aus amylum- und gummireichen Resten der Zerstörung sehr saftiger Gewächse.

In den carbonischen Schiefern gibt es keine freien Kohlenwasserstoffe, die festen und flüssigen freien Kohlenwasserstoffe sind mineralischen Ursprungs. Die Kohlen sind keiner Destillation unterworfen gewesen. Sie haben sich nach und nach auf nassem, und nicht unter dem Einflusse des Feuers auf trockenem Wege gebildet.

Nach E. Fremy[1]) enthält Lignit (le lignite xyloide, bois fossile)

---

[1]) Compt. rend. 88, 1047.

noch bemerkenswerthe Mengen von Ulminsäure, kann aber nicht gleichgestellt werden weder mit dem Holze, noch mit dem Torfe, weil er durch Salpetersäure in gelbes Harz verwandelt wird und weil er vollständig in Hypochloriden löslich ist. Die gemeine Braunkohle (le lignite compacte ou parfait) enthält nur eine geringe Spur von Ulminsäure, löst sich aber noch in Salpetersäure und den unterchlorigen Säuren. Die Steinkohle und der Anthracit sind charakterisirt durch ihre Unlöslichkeit in den neutralen Lösungsmitteln, Säuren, Alkalien und unterchlorigen Säuren.

Die Versuche mit Anthracit von Daubrée und die mit Steinkohle von Baroullier bestimmten ihn zu der Annahme, daß die Umwandlung in Steinkohle sich vollzieht durch die Einwirkung der Hitze und des auf die Pflanzensubstanz ausgeübten Druckes. Um diesen Vorgang zu verfolgen, wurden Pflanzengebilde und die sie am häufigsten begleitenden Substanzen lange Zeit hindurch in an beiden Enden geschlossenen Glasröhren bis zwischen 200 und 300° erhitzt. Es wurde festgestellt, daß dabei die Pflanzenstoffe eine wesentliche Umwandlung erlitten; sie wurden schwarz, leicht zerbrechlich, entwickelten Feuchtigkeit, Säuren, Gase, Theer, aber sie behielten ihre urspüngliche organische Form, sie erfuhren eine Schmelzung nicht und lieferten ein festes Product, welches nicht die geringste Aehnlichkeit mit der Steinkohle hatte. Bei Verwendung von Zucker, Stärkemehl, Gummiarten, Chlorophyll, sowie fetten und harzigen Substanzen, welche in den Pflanzenblättern angetroffen werden, wurde die Erfahrung gemacht, daß diese Stoffe in Substanzen sich umwandeln, welche eine gewisse Analogie mit der Steinkohle haben. Sie sind schwarz, glänzend, oft geschmolzen, durchaus unlöslich in neutralen Lösungsmitteln, Säuren und Alkalien, ganz verschieden von der Kohle, denn beim Erhitzen zur Rothgluth verhalten sie sich wie wirkliche organische Substanzen, entwickeln Feuchtigkeit, Gase, Theere und lassen als Rückstand einen harten und glänzenden Koks zurück. Die Analysen dieser Körper, welche er Steinkohlensubstanzen (substances houillères) nennen will, weisen die Aehnlichkeit ihrer Zusammensetzung mit derjenigen der Steinkohle nach:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
Zuckersteinkohle	66,84	4,78	28,43
Stärkemehlsteinkohle	68,48	4,68	26,84
Steinkohle von arabischem Gummi .	78,78	5,00	16,22

Fremy meint, daß die Substanzen in den Zellen der Pflanzen, wie Zucker, Stärkemehl, die Gummiarten, eine wichtige Rolle bei der Erzeugung der Steinkohle gespielt haben, da sie unter dem Einflusse der Hitze und des Druckes in schwarze, in den Lösungsmitteln unlösliche Massen sich umgewandelt haben, welche den Steinkohlen durch ihre Eigenthümlichkeiten und ihre Zusammensetzung sehr nahe stehen.

Es handelte sich noch darum, festzustellen, auf welche Weise die Pflanzgebilde ihre organische Form verlieren konnten, um eine anorganische Masse zu bilden, wie sie die Steinkohle ist; es war dazu nöthig, an den organischen Pflanzenstoffen diejenige steinige Umbildung (transformation houillères) zu bewirken, welche die sie begleitenden nicht organisirten Körper zeigten. Bei

Braunkohlen und Torf trat die Ulminsäure in dem Maße auf, als die Holzgebilde ihre Organisation verloren hatten. Sobald die Vertorfung vorgeschritten war, enthielt die betreffende Masse nur unbedeutende Reste von organischer Bildung, dagegen bis 50 und 60 Proc. Ulminsäure. In fossilen Hölzern wurden ziemlich dicke, schwarze und glänzende Lagen von Ulminsäure angetroffen, welche aus der Umwandlung der Vasculose entstanden waren und zwar neben den Holzfasern, welche noch nicht vollständig desorganisirt waren. Diese Beobachtung zeigte die Umwandlung an Ort und Stelle und eines Theils des Holzes in Ulminsäure selbst im Innern der Holzmasse.

Fremy schließt daraus, daß die Pflanzen zuerst in Torf sich verwandeln, ehe sie Steinkohlen erzeugen und daß in diesem Zustande das Verschwinden der organischen Gebilde Folge einer Art von torfiger Gährung („fermentation tourbeuse") ist, was Van Tieghem bestätigt (S. 572).

Um aber diese Hypothese durchzuführen, blieb noch zu beweisen, daß die Ulminsäuren und besonders diejenige des Torfes, gleich wie die vorher von Fremy untersuchten Körper in Steinkohle sich verwandeln können. Es wurden drei Arten von Ulminsäure versucht: 1. Ulminsäure aus Torf. 2. Zuckerhuminsäure (l'acide saccharhumique). 3. Ulminsäure und Vasculose durch Alkalien gewonnen. Alle diese Ulminsäuren haben unter dem doppelten Einflusse von Hitze und Druck in steinkohlige Substanzen sich umgewandelt.

Die Dauer der Operation, welche bis auf 200 Stunden ausgedehnt ward, hat in dem Producte eine Vermehrung des Kohlenstoffs bewirkt, wie aus den nachstehenden Zusammensetzungen der künstlichen Steinkohlen ersichtlich ist:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
Steinkohle aus Ulminsäure nach 24 stündiger Erhitzung . . .	67,48	5,84	26,68
desgl. nach 72 stündiger Erhitzung	71,72	5,03	23,25
„ „ 120 „ „	76,06	4,99	18,95
„ aus Ulminsäure der Vasculose	76,43	5,31	18,26

Diese Analysen zeigen, daß die Ulminsäure, möge sie nun aus Torf oder aus einem Bestandtheil des Holzes, der Vasculose, ausgezogen sein, in einen Körper sich verwandelt, welcher dieselbe Zusammensetzung als die natürliche Steinkohle zeigt, und welcher, wie diese, in allen Lösungsmitteln unlöslich ist.

Die Zuckerhuminsäure verhält sich so wie die Torfulminsäure. Von der Ulminsäure der Vasculose ist die Schmelzbarkeit bemerkenswerth; wenn sie vor der steinkohligen Umwandlung sich erzeugt, so kann sie für die Entstehung fetter und schmelzbarer Steinkohlen Erklärung geben.

Um die Beobachtungen über die Körper, welche bei der Bildung der fossilen Brennstoffe noch in Betracht zu ziehen sind, zu vervollständigen, wurden die Aenderungen zum Gegenstande einer Untersuchung gemacht, welche die aus den Blättern durch Alkohol gezogenen Gemenge von Chlorophyll, fettigen und harzigen Körpern unter dem Einflusse der Hitze und des Druckes erleiden. Ein solches Gemenge wurde unter Druck 150 Stunden erhitzt und lieferte das vor dem Versuche in Alkalien lösbare eine schwarze, klebrige, riechende, in kaustischer

Alkalien durchaus unlösliche Substanz, welche ein Analogon der natürlichen Bitumen darstellt.

Fremy stellt folgende Schlüsse auf:

1. Die Steinkohle ist nicht eine organisirte Substanz; Regnault, dessen wichtige paläophytologische Arbeiten der Akademie bekannt sind, bestätigte noch neulich diese wichtige Thatsache auf meine desfallsige Anfrage.
2. Die Pflanzenabdrücke, welche die Steinkohle zeigt und welche so gründlich durch den Schöpfer der Paläophytologie Ad. Brogniart und seinen Nachfolger untersucht worden sind, sind in der Steinkohle wie in den Schiefern oder jeder anderen Mineralsubstanz entstanden: die Steinkohle war eine bituminöse und plastische Masse, auf welcher die Conturen der Pflanzentheile leicht sich abformen konnten.
3. Sobald ein Stück Steinkohle an seiner Oberfläche Pflanzenabdrücke zeigt, so kann es sich treffen, daß die darunterliegenden Kohlentheile das Product der Umänderung derjenigen Pflanzenstoffe nicht sind, welche durch die in der Form noch erhaltenen äußeren Membrane bedeckt wurden.
4. Die hauptsächlichsten Körper der Pflanzenzellen erzeugen, der doppelten Einwirkung der Hitze und des Druckes ausgesetzt, Stoffe, welche eine große Analogie mit der Steinkohle zeigen.
5. Ebenso verhalten sich die Ulminsäuren, sowohl diejenigen, welche im Torfe vorkommen und als die, welche künstlich dargestellt worden sind.
6. Die Farbstoffe, die Harze und Fette, welche aus den Pflanzenblättern ausgezogen werden können, verwandeln sich, der Einwirkung der Hitze und des Druckes unterworfen, in Körper, welche dem Bitumin nahe stehen.
7. Auf Grund der beschriebenen Experimente kann man annehmen, daß die Steinkohlen erzeugt habenden Pflanzen eine torfliche Gährung erfahren haben, welche die ganze organische Structur zerstört hat und daß durch einen weiteren Proceß aus dem Torfe in Folge der Einwirkung der Hitze und des Druckes Steinkohle sich gebildet hat.

Nach Hoppe-Seyler[1]) ist anzunehmen, daß die Steinkohlen aus Huminstoffen durch Erhitzung entstehen, weil kaum eine andere Möglichkeit übrig bleibt. Backende Kohle kann nur dann aus ihnen entstehen, wenn noch andere Einschlüsse in den Torf- und Braunkohlenlagern enthalten sind. Kohlensäure und Methan sind die so häufig in den Steinkohlen eingeschlossenen und stark comprimirten Gase. Wie es aber geschehen kann, daß in den Bläsern der einen Steinkohlenflötze fast reines Methan, in anderen ein Gemisch von Kohlensäure und Methan, in wieder anderen fast allein Kohlensäure auftritt, dürfte sich aus den bisher gemachten Erfahrungen noch nicht genügend erklären lassen.

A. Carnot[2]) suchte festzustellen, welchen Einfluß die Natur der Pflanzen auf die daraus gebildete Kohle habe. Die sorgfältig ausgewählten Probestücke folgender Stammpflanzen ergaben aschenfrei:

		Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff
Calamodendron . .	(5 Proben)	82,95	4,78	11,89	0,48
Cordaites	(4 „)	82,84	4,88	11,84	0,44
Lepidodendron . . .	(3 „)	83,28	4,88	11,55	0,39
Psaronius	(4 „)	81,64	4,80	13,12	0,44
Ptychopteris	(1 „)	80,62	4,85	14,53	
Megaphytum . . .	(1 „)	83,37	4,40	12,23	

[1]) Pharm. Centralh. 1892, 20. — [2]) Fischer's Jahresber. 1886, 1058.

Bei der trockenen Destillation ergaben sich folgende Zahlen:

	Flüchtige Bestandtheile	Fester Rückstand	Ansehen des Koks
Calamodendron	35,3	64,7	gut backend
Cordaites	42,2	57,8	ziemlich aufgetrieben
Lepidodendron	34,7	65,3	gut backend
Psaronius	39,5	60,5	ein wenig aufgetrieben
Ptychopteris	39,4	60,6	desgl.
Megaphytum	35,5	64,5	gut backend
Eine ganz gleiche Behandlung ergab für Kohle vom großen Flötz	40,6	59,4	ein wenig aufgetrieben

Carnot glaubt daher, daß die Stammpflanzen einen Einfluß auf das Verhalten der Kohle haben.

Vielfach hat man durch mikroskopische Untersuchung der Kohlen Aufschlüsse über die Bildung derselben zu erhalten versucht, so Hutton[1]), Witham[2]), Petzhold[3]), Fischer und Rüst[4]), Reinsch[5]) und Gümbel[6]). Letzterer behandelte die Kohlenproben mit chlorsaurem Kalium und Salpetersäure und untersuchte die Pflanzenreste mikroskopisch. Fig. 324 zeigt dieselben in 100facher Vergrößerung.

1. Lignit aus der Braunkohle von Imberg, Gruben a, b, c im Tangentialhirn- und Radialschnitt.
2. Rindenstück aus dem tertiären Lignit der Röhn.
3. Tertiäre Faserkohle aus der Braunkohle des Traunthales.
4. Verschiedene Pflanzengewebe aus dem Mattkohlenstreifchen der tertiären Pechkohle von Peißenberg.
5. Verschiedenes Holzgewebe aus dem Glanzkohlenstreifchen der tertiären Pechkohle von Peißenberg und Miesbach.
6. Holzgewebe mit Markstrahlen aus der Pechkohle von Penzberg.
7. Faserkohle aus der Pechkohle von Oberbayern.
8. Holzzellen aus der Augenpechkohle von Penzberg.
9. Gewebetheile aus einem verkohlten Stamme der Pechkohle von Miesbach.
10. Holzgewebe aus einer Gagatkohle der cretacischen Schichten Schlesiens.
11. Holzgewebe aus einem Liasgagat von Boll mit Markstrahlen und Harzgängen.
12. Holzgewebe aus einem Liasgagat aus der Gegend von Banz bei Staffelstein, Oberfranken; a) im Dünnschliff; b) in dem Aschenrückstand; XX sehr stark vergrößert.
13. Anthracit aus Pennsylvanien mit Holzgewebe nach der Behandlung mit der Bleichflüssigkeit.

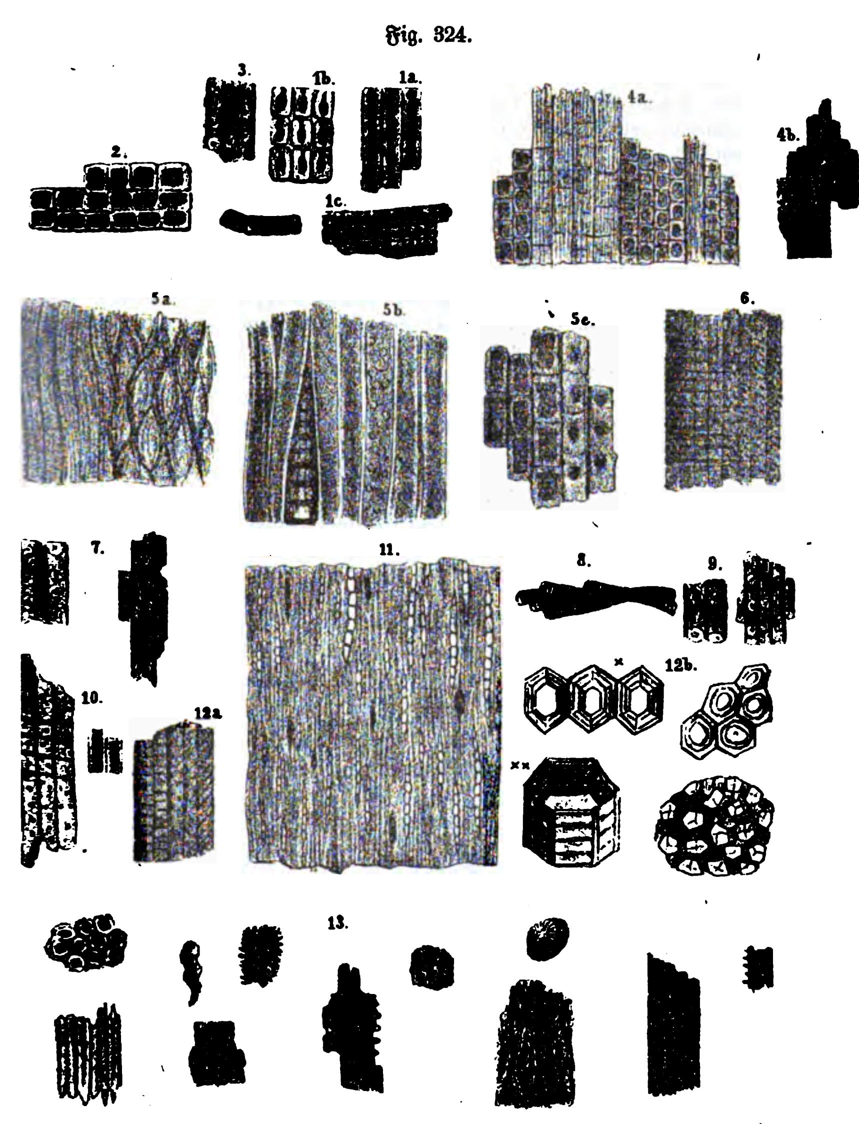
Während die Feststellung der Steinkohlenpflanze sehr schwierig, meist sogar unmöglich ist, lassen sich in der Braunkohle die Pflanzenreste viel leichter bestimmen[7]). Als Beispiel möge nur die Mittheilung von F. Sandberger[8]) über die Braunkohlen vom Bauersberge im Rhön angeführt werden.

---

[1]) Proc. of Geolog. Soc. (London 1833). — [2]) Witham, The internal structure of fossils vegetables (London 1833). — [3]) Petzholdt, Beiträge zur Kenntniß der Steinkohlenbildung (Leipzig 1882). — [4]) Zeitsch. f. Krystallogr. 1883, 209. — [5]) Reinsch, Mikroskopische Untersuchung der Steinkohle (Leipzig 1881 u. 1883). — [6]) Gümbel, Beiträge zur Kenntniß der Texturverhältnisse der Mineralkohlen. Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wissensch. 1883, 111. — [7]) Vergl. Zincken, Braunkohle (Leipzig 1871). — [8]) Berg- und Hüttenm. Zeitung 1879, 190.

Als Bewohner der nach einander am Bauersberge bestandenen Moore selbst müssen vor Allem die Cupressineen bezeichnet werden, deren oft trefflich erhaltene Stämme die Lignitflötze zusammensetzen. Von Bäumen finden sich ferner Weiden (Salix angusta und varians), Erlen (Alnus Kefersteini), Birken, von denen eine,

Fig. 324.



Betula subpubescens, der jetzt auf Torfmooren unter anderen auch am schwarzen Moore häufigen B. pubescens überaus ähnlich ist, während die andere, B. prisca, mit einer Art des Himalaya-Gebirges verwandt scheint, eine Schwarzpappel, Populus latior, der nordamerikanischen Rosenkranz-Pappel (P. monilifera) gleichend, endlich ein Gagelstrauch, Myrica deperdita, der ebenfalls nordamerikanischen

M. pennsylvanica analog. Von niederen Pflanzen, die auf dem Moore selbst wuchsen, verdient Leucothoe protogaea, ein Torfmoos (Hypnum) und ein Schafthalm (Equisetum sp.) erwähnt zu werden, auch die noch unbekannte Pflanze, von welcher die zahlreichen Früchte herrühren, die von Kaltennordheim als Carpites Websteri bekannt sind, dürfte hierher gehören. Der auf trockenerem Standorte in der Umgebung des Moores befindliche stattliche Hochwald bestand aus sehr verschiedenartigen Bäumen. Es befanden sich darunter Buchen (Fagus Deucalionis und Haidingeri), welche zwischen europäischen und amerikanischen lebenden Arten in der Mitte stehen, Kastanien (Castanea recognita), der südeuropäischen eßbaren Kastanie ungemein ähnlich, immergrüne Eichen (Quercus Drymeia und argute-serrata) aus jetzt mexicanischer Gruppe, eine der europäischen sehr nahe verwandte Ulme (Ulmus Bronii), neben welcher aber auch ein Repräsentant der jetzt rein kaukasischen Ulmen-Gattung Planera (Pl. Ungeri) sich vorfindet.

Die Gruppe der Ahorne ist reich vertreten. Neben Formen, welche dem nordamerikanischen rothen Ahorn gleichen (Acer trilobatum), treten auch Arten aus der europäischen Abtheilung der Maßholder (Acer integrilobum und angustilobum) auf. Von Eschen ist eine der kaukasischen Fraxinus oxyphylla verwandte Art bekannt; der Amberbaum (Liquidambar europaeum), japanische Zimmtbäume (Cinnamomum lanceolatum und Scheuchzeri), Ebenholzbäume (Diospyros brachysepala), Seifenbäume, Hickorys (Carya ventricosa analog der lebenden C. myristicaeformis), Sennesbäume von tropisch-amerikanischem Typus (Cassia phaseolithes, hyberborea und lignitum), das wunderbare Podogonium Knorrii, dann der südasiatische Flügelsame (Pterospermites vagans) gehörten ebenfalls zu den höheren Bäumen des Waldes. An ihnen kletterten der fossile Weinstock (Vitis teutonica analog der nordamerikanischen Fuchstraube V. vulpina), aber ebenso-wohl auch echte Lianen (Banisteria teutonica) herauf, welche jetzt gänzlich auf die Urwälder Brasiliens beschränkt sind. Die reichfrüchtige Gardenia Wetzleri (analog der G. lutea aus Abyssinien und G. Thunbergi vom Cap), so wie die Büsche des Glyptostrobus europaeus (analog dem Gl. heterophyllus aus Japan) dürften zu den strauchartigen Gewächsen gehört haben, Reste von beiden kommen sehr häufig vor. —

Aus diesen verschiedenen Untersuchungen und theoretischen Erörterungen geht hervor, daß die Kohlen aus den verschiedensten Pflanzen gebildet wurden, welche theils zusammengeschwemmt, theils aber auch an Ort und Stelle gewachsen sind. Diese verschiedenartigen Pflanzen haben auf die Art und Zusammensetzung der Kohlen zweifellos Einfluß ausgeübt, mehr aber noch die Umstände, unter denen die Pflanzen allmählich in Kohle übergeführt wurden. Bituminöse Kohle findet man dem entsprechend meist nur in ungestörten Ablagerungen, während bei Störungen bezw. Verwerfungen eine mehr oder weniger entgaste Kohle gefunden wird. Die Beurtheilung von Steinkohle wird sehr oft noch dadurch erschwert, daß schon ein Stück verschieden zusammengesetzt ist. Oft zeigt ein Kohlenstück glänzende, tiefschwarze Streifen, die sogenannte Glanzkohle, meist mit geringem Gasgehalt und wenig Asche, ferner matt-grau-schwarze Streifen, die sogenannte Mattkohle, mit hohem Gasgehalt und viel Asche. Ein sehr häufiger Bestandtheil der Kohle ist die Faserkohle, eine nicht verkokbare, abfärbende, feinfaserige Kohlenart mit geringem Gasgehalt und viel Asche, welche anscheinend aus den verschiedensten Pflanzen entstanden ist. Ferner kommen Streifen von Cannelkohle, Pseudocannelkohle, Brandschiefer u. s. w. zuweilen in einem Stücke einer Kohle vor. Nach H. Winklehner[1]) besteht die Glanzkohle aus einer braunen, in dünnen

[1]) Berg- und Hüttenm. Zeitung 1888, 371.

Splittern scheinbar völlig texturlosen Masse, welche auch nach der Behandlung mit der Bleichflüssigkeit nur geringe Spuren von pflanzlicher Textur wahrnehmen, dagegen nach weiterer Einwirkung eine Zusammensetzung aus verschiedenartigem Pflanzengewebe erkennen läßt. **Mattkohle** zeigt bei der mikroskopischen Untersuchung Prosenchymgewebe, welches von blattähnlichen Pflanzentheilen herstammt; nebenbei finden sich häufig Epidermishäutchen, sporenartige Gebilde, Nadeln von Faserkohle und Partikelchen von Thonschiefer. Von der Mattkohle zum **Brandschiefer** einerseits und zur **Cannelkohle** andererseits finden sich alle Uebergangsstufen, die auch unter dem Mikroskope eine stetig fortschreitende Zunahme an Thonschiefertheilchen, welche dem stark zerfallenen Pflanzengewebe beigemengt sind, erkennen lassen.

Jede Kohle besteht daher aus einer ganzen Anzahl sehr verschiedener Verbindungen, deren Trennung und nähere Untersuchung noch nicht gelungen ist (vergl. S. 521 und 529).

Selbstentzündung der Kohlen.

Die Selbstentzündung der Kohlen in **Schiffen**[1]) und auf **Lagerplätzen** hat seit Jahren die Aufmerksamkeit der bezw. Fachkreise erregt[2]), dennoch sind die Ansichten darüber noch recht verschieden.

---

[1]) Vergl. W. **Döring**, Feuer im Schiff (Hamburg 1888); H. **Walter**, Schiffbruch im Indischen Ocean (Leipzig 1892); L. **Häpke**, Selbstentzündung von Schiffsladungen u. dergl., 2. Aufl. (Bremen 1893); **Steinkohlenladungen in Kauffahrteischiffen**, bearbeitet im Auftrage des Reichsamts des Innern (Berlin 1889). — [2]) J. **Liebig** schrieb 1866 folgenden Brief an den Vorstand der Seeschiffahrtsgesellschaft in Vegesack:

„München den 18. Novbr. 1866.

Aus allen vorhandenen Erfahrungen geht deutlich hervor, daß die Selbstentzündung der Steinkohlen auf ihrem Gehalte an Schwefeleisen beruht, welches in der Kohlenmasse, fein getheilt, eingebettet ist, und daß die Gegenwart von Wasser und Luft die nächsten Bedingungen der Selbstentzündung sind.

Die Mittel zur Verhinderung der Selbstentzündung sind damit angezeigt. Benetzung der Kohle mit See- oder anderem Wasser, sowie Ventilation sind durchaus nachtheilig und müssen vermieden werden. Zunächst sollte die Wahl der Kohlen in Betracht gezogen werden; es gibt an Schwefeleisen reiche und arme; auch unter den letzteren finden sich Stücke, welche reich an Schwefeleisen sind und diese sind leicht an zahlreichen gelben metallischen, mit bloßen Augen sichtbaren Punkten zu erkennen, welche die Stücke stellenweise durchziehen. Unter den rheinischen Kohlen kommen solche Stücke häufig vor, weniger unter den englischen, sehr selten unter den Anthracitkohlen. An Schwefeleisen reiche Kohlen sollten, soweit als dies geht, für die Heizung von Dampfschiffen ausgeschlossen werden; da aber Schwefeleisen in den gewöhnlich vorkommenden Sorten beinahe nie fehlt, so ist streng darauf zu achten, daß die Kohlen nicht in nassem Zustande oder im Regen eingeladen werden.

Ich wiederhole, daß ohne Gegenwart von Wasser (Nässe oder feuchtes Lager) bis jetzt keine Selbstentzündung wahrgenommen ist. Wäre es möglich, den Zutritt von Luft ganz abzuschließen, so wäre das ein sicheres Zeichen und unfehlbares Vorbeugungsmittel; aber dieser Abschluß ist nicht möglich. Sehr viel könnte aber in dieser Beziehung gethan werden, wenn man die Kohlen beim Einladen in das Schiff

M. Balcke (D. R.-P. Nr. 67583) will die Selbstentzündung der Kohlen in Schiffen u. s. w. durch kräftige Lüftung vermeiden. Er behauptet: „Die Erwärmung und Selbstentzündung der Kohlen entsteht, wenn die Feuchtigkeit in Verbindung mit der stagnirenden Luft eine Zersetzung des Schwefelkieses, welcher den Kohlen stets beigemengt ist, herbeiführt.

Zur Lagerung von Kohlenvorräthen empfehlen Diß & Co. in Düsseldorf (D. R.-P.), Kohlenvorräthe in cementirten Behältern mit Wasser bedeckt aufzubewahren, um Selbstentzündungen zu verhüten.

F. Poech[1]) will die Kohlen in einer Grube einlagern, in welche Wasserdampf eingeleitet wird.

v. Balzberg[2]) will, sobald Erwärmung der Kohlen eintritt, Kohlensäure einleiten.

Zur Verhütung der Selbstentzündung von Kohlenlagern wird nach J. H. C. Behnke und Chemische Fabrik vorm. Hell u. Sthamer (D. R.-P. Nr. 77281) unmittelbar durch Verbrennung erzeugte Kohlensäure nach Umständen zusammen mit Ammoniak oder dessen Carbonaten in die Kohlenlager eingeführt. Hierdurch soll die atmosphärische Luft und das Methangas ausgetrieben werden.

Henning[3]) beobachtete mehrere Selbstentzündungen in Lagerschuppen der Danziger Gasanstalt, welche nach Einrichtung ausgiebiger Lüftungsschächte nicht mehr eintraten. Dagegen verwirft Kunath[4]) den Einbau von hölzernen Kanälen oder Schloten.

Die Selbstentzündung der Kohle in Schiffen untersuchte besonders eine englische Commission[5]).

Aus den Angaben des „Committee of Lloyds“ ergibt sich, daß 1874 bei 31116 Schiffen mit 13369012 t Kohlen Ladung 70 Unglücksfälle durch Feuersbrunst stattfanden. Von diesen Schiffen waren 26631 mit 10513831 t Kohle für europäische Häfen bestimmt und unter diesen hatten nur 10 unter Selbstentzündung zu leiden, so daß auf die 4485 Schiffe mit 2855831 t Kohle nach Asien, Afrika und Amerika 60 Unglücksfälle kommen.

Weiter zeigen diese Angaben, daß die Zahl der auf Selbstentzündung zurück zu führenden Unglücksfälle zugleich mit dem Tonnengehalte der Ladungen wächst. Dies ergibt sich deutlicher, wenn der europäische Handel in Abzug gebracht wird. Die Angaben stellen sich dann für 1874 wie folgt:

---

schichtweise mit gewöhnlichem Steinkohlentheer besprengen würde, so zwar, daß die Stücken mit einer dünnen Theerschicht überzogen werden, welche den Einfluß der Luft und namentlich auch den des Wassers abhält und sie in dieser Weise schützt. Kohlen in großen Stücken sind weit weniger gefährlich als Kohlenklein, welches der Luft und dem Wasser mehr Oberfläche darbietet; ebenso sollten Kohlen, die an der Luft leicht und von selbst zersplittern und zerfallen, vermieden werden.“ x.

[1]) Oesterr. Zeitschr. Bergh. 1894, 320. — [2]) Daselbst 1895, 319. — [3]) Journ. f. Gasbel. 1877, 518. — [4]) Fischer's Jahresber. 1892, 48; 1893, 73. — [5]) Report of the Royal Commissioners appointed to inquire into the spontaneous combustion of coal in ships, together with appendix, minutes of evidence and index. Presented to both houses of Parliament by Command of Her Majesty (1877).

2109	Schiffe	mit	unter 500 t	Ladung	erlitten	5	Unglücksfälle	od.	unter $1/4$	Proc.
1510	„	„	500 bis 1000 t	„	„	17	„	„	über 1	„
490	„	„	1000 „ 1500 t	„	„	17	„	„	$3^1/_2$	„
308	„	„	1500 „ 2000 t	„	„	14	„	„	$4^1/_2$	„
77	„	„	über 2000 t	„	„	7	„	„	9	„

Besonders bemerkenswerth erscheint die Zahl der Unglücksfälle in den nach San Francisco bestimmten Schiffen. Nach Abzug der Schiffe mit unter 500 t Ladung, von denen keines Schaden litt, zeigt die Zusammenstellung 9 Unglücksfälle auf 54 Schiffe. Diese vermehren sich wieder mit der Vergrößerung der Ladung bis zu der erschreckenden Thatsache, daß von 5 mit über 2000 t Ladung nach San Francisco bestimmten Schiffen 2 durch Selbstentzündung zu Schaden kamen [1]).

Es ist also erwiesen, daß Selbstentzündung vorwiegend eingetreten ist in Schiffen mit über 500 t Ladung, die nach der Westküste Südamerikas, nach San Francisco oder nach asiatischen Häfen (ausschl. die Häfen des Mittelländischen und Schwarzen Meeres) bestimmt waren. Von diesen Schiffen kamen 1874 über 4 Proc. zu Schaden; und obgleich die Zahl der Schiffe nur 1184 betrug bei einer Gesammtsumme von 31 116, so ereigneten sich auf denselben doch 51 von den 70 überhaupt eingetretenen Unglücksfällen.

Nach Ansicht der Commission unterliegt es keinem Zweifel, daß gewisse Kohlensorten zur Verschiffung ganz und gar untauglich sind und daß andere Sorten nur auf geringe Entfernungen und mit Vorsicht verschifft werden sollten. Besonders wird getadelt, daß die kiesreichen Stücke nicht mehr so sorgfältig ausgesucht werden als früher, und daß Kleinkohle verschifft wird. Es ist daher auf passende Ladevorrichtungen zu sehen, damit möglichst wenig Gruß entsteht. Nach Zeugenaussagen über den Feuchtigkeitsgehalt der Kohlen will es „scheinen, daß Feuchtigkeit bei gewissen Kohlensorten, besonders den kieshaltigen, auf Selbstentzündung hinwirkt; indessen haben die Aussagen einiger Zeugen auf uns den Eindruck gemacht, daß man Feuchtigkeit für Unglücksfälle verantwortlich machen will, die weit außerhalb ihres Einflusses liegen, während es uns bei anderen Aussagen schien, als ob der Einfluß des Wassers, das in jeder Kohle schon vorhanden ist, die sich noch auf natürlicher Lagerstätte befindet, nicht genügend anerkannt worden ist“.

Die verschiedenen Zeugenaussagen über die Wirkung der Ventilation widersprechen sich völlig. Capitän und Rheder sind meist gegen Lüftungseinrichtungen. Von keinem der 70 Schiffe, welche 1874 durch Selbstentzündung zu Grunde gingen, wird berichtet, daß es nicht ventilirt gewesen sei, während es von 38 fest steht, daß sie ventilirt waren; unter letzteren befanden sich 35 Schiffe von über 500 t Ladung. Das hervorragendste Beispiel wird durch die vier Schiffe Euxine, Oliver Cromwell, Calcutta und Corah geliefert. Diese Schiffe, auf die mehrere unserer Zeugen verwiesen, wurden zu Newcastle zu gleicher Zeit mit der nämlichen Kohle aus demselben Flötz nach dem Kippsystem geladen, indem bald das eine, bald das andere sich unter dem Gerüst

[1]) Vergl. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenw. 1877*, 305; Deutsche Baugewerbezeitung 1877*, 505.

befand. Alle hatten 1500 bis 2000 t Ladung. Oliver Cromwell, Euxine und Calcutta waren nach Aden, die Corah nach Bombay bestimmt. Erstere drei waren durch und durch ventilirt, das vierte gar nicht. Die drei ersteren verbrannten vollständig, die Corah brachte ihre Ladung unversehrt nach Bombay.

Die Commission gelangt zu folgenden Schlüssen:

1. Gewisse Kohlensorten sind für weite Verschiffungen durchaus gefährlich.
2. Die Zerkleinerung der Kohle beim Transport von der Grube in den Schiffsraum, die Verschiffung feuchter kieshaltiger Kohle und besonders das Anbringen von Ventilationsvorrichtungen innerhalb der Kohlenmasse führen zu Selbstentzündung selbst bei Kohlensorten, die an und für sich zum weiteren Transport nicht ungeeignet sind.
3. Selbstentzündungen würden seltener vorkommen, wenn Rheder und Versicherer diese Thatsachen beachten würden.
4. Kohlenladungen sollten auf weiten Fahrten von Zeit zu Zeit an verschiedenen Stellen mittelst des Thermometers untersucht und das Resultat in das Logbuch eingetragen werden.
5. Um Explosionen vorzubeugen, sollte man dem explodirbaren Gase durch eine bei jeder Witterung wirksame Oberflächenventilation ununterbrochen freien, von den Luken unabhängigen Ausweg in die Atmospäre verschaffen.
6. Um die Kohlensorten kennen zu lernen, welche zur Selbstentzündung neigen, sollten die Inspectors of Mines angewiesen werden, alle Fälle von Selbstentzündung, bei denen Kohle aus ihren Districten sich auf den fraglichen Schiffen befand, zu untersuchen, und die Kohlenexporteure müßten verpflichtet werden, auf ihren Specificationen die Kohle stets namentlich zu bezeichnen.
7. Neue Gesetze über den Seetransport von Kohle sind nicht weiter erforderlich, als um unsern Vorschlag wegen der von den Inspectors of Mines vorzunehmenden Untersuchungen in Kraft zu setzen und um eine ausführliche Specification der ausgeführten Kohle bei den Königlichen Zollbehörden zu veranlassen.

Als Anhang ist ein Bericht von F. A. Abel und J. Percy beigegeben.

Nach deren Ansicht scheint Schwefelkies die einzige in der Kohle vorkommende Schwefelverbindung zu sein, welche in Folge der durch das Vorhandensein von Feuchtigkeit begünstigten Oxydation und unter mechanischen, für die Ansammlung der bei der Oxydation frei werdenden Wärme günstigen Bedingungen im Stande ist, die sogenannte Selbstentzündung hervorzurufen. Die porösen und leichter oxydirbaren Theile der Kohle, welche bekanntlich in Flötzen verschiedener Gruben in größerer oder geringerer Menge und Vertheilung enthalten sind, unterliegen der Oxydation durch Absorption atmosphärischen Sauerstoffs; und indem nun eine große Oberfläche dessen Einwirkung ausgesetzt wird, und die Wärme sich unter günstigen Umständen ansammelt, beschleunigen sich gegenseitig Oxydation und Temperaturerhöhung, bis schließlich die Entzündungstemperatur für die Theilchen erreicht ist, welche am feinsten vertheilt und am leichtesten entzündbar sind. Die Zerkleinerung der Kohle, welche stets in größerem oder geringerem Grade vor und während der Verschiffung eintritt, begünstigt die Absorption des Sauerstoffs und vermehrt daher die Neigung zur Selbstentzündung. In einer Reihe werthvoller Versuche von Richters (S. 587) und Anderen über die Verwitterung der Kohlen ist gezeigt worden, daß von frisch gewonnener Kohle eine beträchtliche Menge Sauerstoff absorbirt wird, und daß darauf sich Kohlensäure und Wasser aus der Kohle entwickeln, während ein Theil des Sauerstoffs zur Bildung fester Sauerstoffverbindungen verbraucht wird. Freiwillige Oxydation der Kohle durch den Sauerstoff der Luft ist also unzweifelhaft festgestellt und dies ist ohne Frage eine der Hauptursachen der Selbstentzündung.

Selbstentzündung von Kohle, wenn dieselbe durch Oxydation poröser und leicht oxydirbarer kohlenstoffhaltiger Substanzen, die in der Kohle vorkommen, herbei-

geführt wird, scheint durch Vorhandensein von Wasser in der Kohle oder durch dessen Zuführung zur Ladung nicht begünstigt zu werden; im Gegentheil werden die Poren der Kohle dadurch, daß sie naß wird, mehr und mehr mit Wasser angefüllt und verlieren in gleichem Maße die Fähigkeit, Sauerstoff aufzunehmen. Die Gegenwart von Wasser wirkt also in manchen Fällen der Oxydation entgegen; ist dagegen Schwefelkies vorhanden, so beschleunigt sie die Selbstentzündung.

Wenn Kohle aus an Sumpfgas reichen Schichten kurz nach der Förderung verschifft wird, so ist augenscheinlich große Neigung vorhanden, im Schiffs- oder Kohlenraum und den mit ihnen in Verbindung stehenden Räumlichkeiten eine explosible Atmosphäre zu bilden, und man sollte in solchen Fällen alle Mittel aufbieten, dem Gase Ausweg in die Luft zu verschaffen.

Die einzige nützliche Anwendung der Ventilation zur Vermeidung von Explosionen würde die sein, daß man einen Zug über die Oberfläche der Kohle hinweg wieder direct in die Atmosphäre herstellt, um die Entfernung des brennbaren Gases zu beschleunigen[1]).

Um die Neigung einer Kohlenladung zur Selbstentzündung zu vermeiden, könnte das einzige möglicherweise zu erreichende Ziel der Lüftung das sein, eine schnelle Abführung der entwickelten Wärme herbeizuführen, indem man kalte frische Luft schnell durch die Masse der Kohle treibt. Einen solchen Erfolg zu erreichen, erscheint indessen selbst dann zweifelhaft, wenn die kräftigsten Mittel künstlicher Ventilation auf das sorgfältigste angewandt werden, und wenn sich die Kohle im für Luftdurchlaß günstigsten mechanischen Zustande befindet; es ist keine Frage, daß jedes auf einem Schiff praktisch verwendbare Ventilationsverfahren diesen Erfolg nicht erreichen würde, wenn man auch die Thatsache nicht in Betracht zieht, daß der mechanische Zustand einer solchen Ladung einem freien Luftdurchzug ganz entgegen ist. Es erscheint daher nicht möglich, mit Hülfe von Ventilation die Ansammlung von Wärme in irgend einem Theile der Ladung zu verhindern. Die Luftcirculation, die man möglicherweise in dem weniger dicht gelagerten Theile der Ladung einrichten könnte, würde nur sehr wenig zur Kühlung beitragen, und die Circulation in den dicht liegenden Massen kleiner Kohle kann, wenn überhaupt welche stattfindet, nur sehr schwach sein, so daß, wenn sich Wärme entwickelt, dieselbe sich auch ungestört ansammeln wird. Ja es würde sogar die Entwickelung derselben durch frische Sauerstoffzufuhr möglicherweise befördert werden, indem eine allmähliche Erneuerung der die Kohlentheilchen umgebenden Luft stattfindet, so daß also früher oder später ein Zeitpunkt eintritt, wo durch Ventilation die Entwickelung der Wärme befördert wird und zwar bevor die wirklich eingetretene Entzündung den vollständigen Abschluß der Luft verlangt. —

Lange glaubte man, daß die in den Kohlenflötzen vorkommenden Schwefelkiese die hauptsächliche, wenn nicht die einzige Ursache der Grubenbrände wären. Noch 1853 meinte Regnault, daß nichtkiesige Steinkohlen bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft unverändert wären.

Varrentrapp stellte schon im Jahre 1865[2]) die Oxydation der Kohle beim Ueberleiten von Luft fest. Richters[3]) stellte umfassende Versuche mit schlesischer Kohle an; er schließt:

1. Die Verwitterung ist die Folge einer Aufnahme von Sauerstoff, welches einen Theil des Kohlenstoffes und Wasserstoffes der Steinkohlen zu Kohlensäure und Wasser oxydirt, anderntheils direct in die Zusammensetzung der Kohle eintritt.
2. Der Verwitterungsproceß beginnt mit einer Absorption von Sauerstoff. Erwärmen sich in Folge dieses oder eines anderen Vorganges die Kohlen

---

[1]) Fischer's Jahresber. 1887, 15. — [2]) Dingl. 175, 156; 178, 380; vergl. daselbst 166, 231. — [3]) Dingl. 190, 400; 195, 316 u. 449; 196, 317.

während der Lagerung, so tritt nach Maßgabe der Temperaturerhöhungen eine mehr oder weniger energische chemische Reaction des Sauerstoffes auf die verbrennliche Substanz der Kohlen ein, anderenfalls verläuft der Oxydations- (Verwitterungs-) Proceß so langsam, daß sich in der Mehrzahl der Fälle die innerhalb Jahresfrist eintretenden Veränderungen technisch wie analytisch kaum mit Sicherheit feststellen lassen.

3. Die Feuchtigkeit als solche hat direct keinen begünstigenden Einfluß auf die Verwitterung. Gegentheilige Beobachtungen werden sich immer auf den Umstand zurückführen lassen, daß manche, besonders an leicht zersetzbaren Schwefelkies reiche, oder in Berührung mit Wasser bald zerfallende Kohlen sich unter gleichen Verhältnissen im feuchten Zustande ausnahmsweise rascher erhitzen als im trocknen.
4. So lange die Temperaturerhöhung gewisse Grenzen (170 bis 190°) nicht übersteigt, treten bei der Verwitterung bemerkenswerthe Gewichtsverluste nicht ein; das Verhalten der Kohle zum Sauerstoffe läßt vielmehr geringe Gewichtszunahmen annehmbar erscheinen.
5. Für die Erklärung der Abnahme des Brennwerthes, des Verkokungswerthes (bezüglich der Quantität), der Backfähigkeit und des Vergasungswerthes, welche die Kohlen durch die Verwitterung erleiden, bedarf es nicht der von mehreren Seiten unterstellten Annahme einer „neuen Gruppirung der Atome“. Vielmehr erklären sich die angedeuteten Verschlechterungen hinreichend aus der absoluten und relativen Abnahme des Kohlenstoffes und Wasserstoffes und der absoluten Zunahme des Sauerstoffes, die in Folge der Verwitterung eintritt.

Nach Th. Newbigging[1]) wird die Selbstentzündung der Kohlen durch Schwefelkies oder auch durch Sauerstoffaufnahme der bituminösen Kohle veranlaßt.

Um einen Anhaltspunkt für die Beurtheilung der Selbstentzündbarkeit der Kohlen zu haben, wurde empfohlen[2]), die Feuchtigkeitsmenge zu bestimmen, die eine lufttrockene Kohle aus der Luft entnimmt, da man aus der Menge der aufgenommenen Feuchtigkeit auf die Absorptionsfähigkeit der betreffenden Kohle schließen kann. Folgende Tabelle gibt (angeblich) über das Verhalten verschiedener Kohlensorten Aufschluß:

Möglichkeit zur Selbstentzündung	Pyritgehalt in Proc.	Feuchtigkeitsgehalt in Proc.
Sehr gering	1,13	2,54
	1,01 bis 3,04	2,75
	1,51	3,90
Mittelmäßig	1,20	4,50
	1,08	4,35
	1,15	4,75
Groß	1,12	4,85
	0,83	5,30
	0,84	5,52
	1,00	9,01

H. Häbicke[3]) tränkte Holzkohle mit gefälltem Schwefeleisen; im schwachen Sauerstoffstrome trat bei etwa 250° Entzündung des Schwefeleisens ein. In

[1]) Fischer's Jahresber. 1890, 32. — [2]) Stahl und Eisen 1892, 809. — [3]) Verhandl. d. Vereins f. Gewerbfl. 1880, 473.

atmosphärischer Luft trat keine Entzündung des Schwefeleisens ein; Feuchtigkeit verminderte die Entzündung im Sauerstoff. Hädicke meint, Kohlenladungen auf Schiffen würden wohl lediglich durch Putzwolle oder Gase entzündet, nicht durch Schwefelkies.

Von R. Tatlock[1]) wurden einige Kohlensorten feinst gepulvert und, damit die eingeschlossenen Gase entweichen konnten, 24 Stunden in freier Luft gelassen. Hierauf wurden die Kohlen bei 100° gut getrocknet, ihr Schwefelsäuregehalt bestimmt und dann $1^1/_2$ Stunden auf etwa 180° erwärmt. Die Kohlen zeigten im Durchschnitt eine Gewichtszunahme von etwa 2 Proc., die Zunahme an Schwefelsäure betrug aber kaum 0,1 Proc.

Daß der Schwefelkies auf den Berghalden der Kohlenzechen bei der Selbstentzündung eine Rolle spielt, hält R. Cremer[2]) auf Grund seiner Untersuchungen auf zahlreichen westfälischen Gruben für wahrscheinlich, da hier der Schwefelkies, in den Waschbergen in concentrirten Mengen lagernd, geeignet sei, durch Oxydation und die dadurch entstehende Temperatur eine Entzündung der ihn umlagernden Kohle zu bewirken.

In den Gruben zu Poullanen (Finistère) hat man nachgewiesen, daß die einen verlassenen Feldestheil mitten in kiesigem Gestein umgebende Luft nach einiger Zeit nur 9,6 Proc. Sauerstoff, keine Spuren von Kohlensäure und keine anderen Gase außer Stickstoff enthielt. Nur die Kiese konnten, indem sie sich von selbst oxydirten, nach und nach über die Hälfte Sauerstoff der umgebenden Luft entziehen. Dem entsprechend erklärt Durand[3]) die Selbstentzündung der Kohle in der Grube dadurch, daß sich zunächst der in der Kohle vorhandene Schwefelkies erhitzt und entzündet, dann unterstützt durch die Bewegungen der Massen und die Einwirkung des Staubes die Kohlen bis zur Entzündung erwärmt.

Als nach Fayol[4]) gepulverte Kohle und Schwefelkies bei 200° erwärmt wurden, hatte nach vier Tagen die Kohle 6 Proc., der Kies nur 3,5 Proc. Sauerstoff aufgenommen (vergl. S. 108). Kohle absorbirte den Sauerstoff somit schneller als Kies. Als ferner 900 g Kohlenpulver und 3350 g gepulverter Schwefelkies in Blechbüchsen gefüllt in eine Trockenkammer gestellt wurden, verhielten sich Kohle und Kies bis zu 135° fast gleich; dann blieb die Kiestemperatur fast unverändert, die Temperatur des Kohlenpulvers stieg aber schnell, bis nach einigen Stunden die Entzündung eintrat. In einem auf 200° erwärmten Raume erhitzte sich die Kohle rasch, erreichte nach 40 Minuten etwa 300° und entzündete sich, während der Kies erst etwa 150° warm war. Reine Kohle erhitzt sich somit schneller als reiner Kies. Weitere Versuche ergaben, daß ein Zusatz von Schwefelkies die Entzündung des Kohlenpulvers keineswegs beschleunigt.

G. Arth[5]) prüfte in entsprechender Weise 1. Steinkohle aus der Grube Frankenholz mit 8,1 Proc. Sauerstoff; 2. aus Drocourt (Pas de Calais) mit

[1]) Journ. Soc. Chem. Indust. 1890, 1112; Zeitschr. f. angewandte Chem. 1891, 222. — [2]) Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1894, 1106. — [3]) Vergl. Berg- und Hüttenm. Zeitung 1882, 444. — [4]) Compt. rend. Soc. ind. minérale 1882, 16; Fischer's Jahresber. 1883, 1208. — [5]) Bull. chim. 1894 (Juli).

3,7 Proc. Sauerstoff; 3. aus Aiseau-Prêle (Charleroi) mit 1,6 Proc. Sauerstoff. Die Kohlen wurden bald nach der Förderung aus den Gruben in Stücke zerschlagen. Da es sich weniger um eine mittlere Probe handelte, als darum, möglichst gleichmäßiges Material zu gewinnen, so wurden alle weniger reinen Stücke entfernt. Die tauglichen Stücke wurden zerkleinert und durchgesiebt, auf dem Siebe blieben Stücke von 3,11 mm. Die Proben teilte man in vier Theile. Der erste wurde unmittelbar untersucht, den zweiten that man in eine stehende Glasröhre, durch welche ununterbrochen ein Wasserstrahl aus der Wasserleitung (stark mit Luft gesättigtes Moselwasser) von unten nach oben ging. Der dritte Theil wurde in einen weithalsigen Kolben gebracht und so viel Wasser hinzugefügt, daß es 5 bis 6 cm über den Kohlen stand. Der Kolben blieb während der Dauer der Versuche offen, das Wasser wurde nicht erneuert. Den vierten Theil ließ man an der Luft in einem Holzkasten, worin man die Kohle in 10 cm hohen Schichten aufstapelte. Der Kasten blieb unbedeckt und in den Wänden brachte man Oeffnungen zum Abfluß des Regenwassers und zur freien Bewegung der Luft an. Auf diese Weise konnte man gleichzeitig die Wirkung des fließenden und des stehenden Wassers, sowie die der Atmosphäre auf eine und dieselbe Sorte Kohle vergleichen. Die Versuche dauerten 12 Monate. Sie noch länger fortzusetzen, hielt man für unnöthig, weil Steinkohle selten länger unbenutzt liegen bleibt und der Zweck der Versuche der war, praktische Resultate zu erzielen. Nach Ablauf dieser Frist wurde die bei 95° getrocknete Kohle analysirt. Wie die Tabelle zeigt, war die Oxydation unter Wasser unmerkbar; ähnlich verhielt sich die S. 520 besprochene Kohle.

	Asche	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	C Proc. in d. organischen Bestandtheilen	H Proc. in d. organischen Bestandtheilen
Kohle Nr. 1.						
Anfänglich	2,08	81,69	5,79	8,15	83,42	5,91
Nach 12 Monaten						
Im fließenden Wasser	1,75	82,24	5,70	7,88	83,70	5,80
Im stehenden Wasser	1,82	82,15	5,62	7,94	83,67	5,72
An der Luft	1,96	81,45	5,58	8,80	83,08	5,49
Kohle Nr. 2.						
Anfänglich	4,08	85,06	5,20	3,68	88,68	5,42
Nach 12 Monaten						
Im fließenden Wasser	4,33	85,70	5,26	2,71	89,58	5,49
Im stehenden Wasser	4,78	84,67	4,87	3,74	88,92	5,11
An der Luft	5,77	82,78	5,00	4,54	87,84	5,30
Kohle Nr. 3.						
Anfänglich	2,86	89,83	3,88	1,59	92,41	3,99
Nach 12 Monaten						
Im fließenden Wasser	2,64	89,30	3,79	2,61	91,70	3,89
Im stehenden Wasser	3,31	89,01	3,84	2,05	92,05	3,97
An der Luft	3,19	88,77	3,99	2,38	91,69	4,05

Daß thatsächlich einige Kohlen rasch Sauerstoff aufnehmen, wurde bereits von Stein (vergl. S. 501); Richters (s. S. 587); den Verf. (S. 108) u. A. nachgewiesen (vergl. S. 520). Dem entsprechend sieht V. B. Lewes[1]) die Oxydation der bituminösen Bestandtheile der Kohle als Ursache der Entzündung an. Die Explosion in Kohlenschiffen wird durch den Methangehalt der frischgeförderten Kohle herbeigeführt. Daher ist die Explosionsgefahr in Kohlenschiffen am größten während der ersten 10 Tage nach dem Einladen frischer Kohlen; die Entzündung wird dadurch veranlaßt, daß das Gasgemisch mit einer Flamme in Berührung kommt. Es sollten daher nur solche Kohlen verladen werden, welche wenigstens einen Monat gelagert haben. Da die Gasentwickelungen erst allmählich stattfinden, so ist es erklärlich, daß 1873 bei 26 231 Verschiffungen nach europäischen Häfen nur 10 Selbstentzündungen erfolgten, während 4485 Verladungen nach Asien, Afrika und Amerika deren nicht weniger als 60 ergaben. Ein anderer wichtiger Umstand liegt in der jetzigen Ventilation des Schiffsraumes, die eine der hauptsächlichsten Gründe der Selbstentzündung bildet.

Eine neue Gefahrquelle liegt in der Temperaturzunahme in der Nähe des Laderaumes durch die Anwendung von Maschinen mit dreifacher Expansion und von hochgespannten Kesseln. Diese Zunahme hat man auf den Kriegsschiffen nachgewiesen, welche Truppen nach Indien transportiren. Man kann dieselbe zu 5° annehmen und im December 1883 wurde auf dem Crocodil beginnender Kohlenbrand nachgewiesen. Daraus folgt nach Lewes, daß die zu verschiffenden Kohlen möglichst großstückig und kiesfrei sein müssen, da der Kies sie leicht zerkleinert; an der Luft getrocknet, dürfen sie höchstens 3 Proc. Feuchtigkeit enthalten. Alle für weite Reisen bestimmten Kohlen müssen vor der Verfrachtung mindestens einen Monat vorher gefördert sein; sie sind ohne jede Abfallbildung zu verladen. Keinesfalls darf sich Kohlenklein unter den Schiffsluken anhäufen. Lewes empfiehlt Behälter mit flüssiger Kohlensäure mit einzulagern, deren Öffnung durch leicht schmelzbare Pfropfe geschlossen sind. —

Die Lagerungsverluste mancher Kohlen sind beachtenswerth; Grundmann[2]) fand beim einjährigen Lagern 9 bis 11 Proc. Verlust; Thompson[3]) gibt sogar an, daß die Hälfte der Heizkraft beim Lagern an feuchter Luft verloren geht.

Reder[4]) beobachtete, daß einige Kohlen keine Verluste beim Lagern erleiden.

J. Kolb[5]) fand für französische Kohlen nur geringe Verluste beim Lagern an der Luft[6]).

Wie es nach der überaus verschiedenen Beschaffenheit und Zusammensetzung der Kohlen schon erwartet werden konnte, verhalten sich die Kohlen dem Einflusse der Luft gegenüber sehr verschieden. Einige erwärmen sich rasch und

---

[1]) Industries 1890, 386; Revue univers. 1890, 217; 1892, 107. — [2]) Wagner's Jahresber. 1863, 752; 1870, 770. — [3]) Dingl. 178, 161. — [4]) Wagner's Jahresber. 1870, 770. — [5]) Bull. soc. chim. 1873, 180. — [6]) Vergl. Dingl. (1882) 245, 359.

neigen zur Selbstentzündung, andere verlieren beim Lagern mehr oder weniger stark an Brennwerth, andere wieder verändern sich an der Luft nur sehr wenig und zeigen keine Selbstentzündung. Jede Kohle, welche gelagert oder verschifft werden soll, sollte daher vorher untersucht werden, ob sie leicht Gase entwickelt oder Sauerstoff aufnimmt.

Im nächsten Abschnitt, bei Braunkohlenpreßsteinen und bei Herstellung von Koks, wird weiter auf die Lagerungsverluste von Kohlen eingegangen werden.

Nachträge.

Wärmemessung.

Metallthermometer (vergl. S. 4 u. 312). J. Sudmann (D. R.-P. Nr. 43719) schlug eine Aenderung der Zeigerübertragung an Metallthermometern vor; desgl. Weytruba (D. R.-P. Nr. 39459). Rott u. Co.[1]) verwenden die Ausdehnung eines 24 m langen Messingdrahtes. Ferner Metallthermometer von Kampf (D. R.-P. Nr. 42500), Fromm (D. R.-P. Nr. 50345), Admiraal (D. R.-P. Nr. 56865), Möller (D. R.-P. Nr. 56864 u. 59764). Damaze (D. R.-P. Nr. 67331) verwendet Metall in Verbindung mit einem Thoncylinder[2]). Alle Metallthermometer sind unzuverlässig (vergl. S. 331).

Quecksilberthermometer u. dergl. Zur Herstellung hochgradiger Quecksilberthermometer empfiehlt A. Mahlke[3]) die Verwendung flüssiger Kohlensäure, um den erforderlichen Druck von 17 bis 18 Atm. zu erzeugen. Mit Hülfe des Glases 59 III von Schott in Jena lassen sich so Quecksilberthermometer erzeugen, welche Temperaturmessungen bis 550° ermöglichen.

Ein durch Verf.[4]) von W. Niehls bezogenes Thermometer zeigt nach beigegebener Prüfungsbescheinigung der physikalisch-technischen Reichsanstalt in der Nähe von

— 1° um 0,5° zu niedrig,
+ 193° „ 6,5° „ „
309° „ 6,5° „ „
389° „ 2,5° „ „
503° „ 10° „ hoch.

Beigegeben ist noch ein Zettel von W. Niehls:

„Wenn das Thermometer beim Gebrauche nicht vollständig in das Temperaturbad eintaucht, so ist die Correction für den herausragenden Quecksilberfaden zu der Ablesung des Thermometers hinzuzurechnen.

Es ist deshalb in diesem Falle die Erhitzung des Quecksilbergefäßes keinenfalls so weit zu treiben, daß die Quecksilbersäule über 520° steigt, da sonst die Erweichungsgrenze des Glases erreicht wird."

---

[1]) Fischer's Jahresber. d. chem. Technolog. 1887, 24. — [2]) Ebend. 1893, 1183. — [3]) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1892, 402. — [4]) Fischer's Jahresber. 1893, 1181.

Wenn das Thermometer nicht über 520° erwärmt werden darf, so hat die Theilung bis 560° doch keinen Zweck; neuere mögen besser sein.

Neuere Quecksilberthermometer aus Jenaer Borosilicatglas 59 III untersuchte A. Mahlke [1]). Danach ergiebt sich auf die Temperatur des Luftthermometers t bezogen die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers V_t/V_0 und der entsprechende Stand des Quecksilberthermometers Q_t bei gleichmäßiger Theilung desselben wie folgt:

t	V_t/V_0	Q_t
0	1,000000	0
100	1,016437	100
200	1,032931	200,4
300	1,049974	304,1
350	1,058853	358,1
400	1,067868	412,3
450	1,077098	469,1
500	1,086754	527,8

Quecksilberthermometer für hohe Temperaturen von Murrie (D. R.-P. Nr. 32903 und 34619) sind mit hohen Quecksilbersäulen oder gepreßten Flüssigkeiten versehen, um den Siedepunkt des Quecksilbers zu erhöhen, was kaum empfehlenswerth ist.

Quecksilberthermometer von Schott u. Gen. (D. R.-P. Nr. 68140). Bei Quecksilberthermometern mit kleinem Gefäße wird die Scaleneintheilung so fein, daß sie nur schwer erkennbar wird. Zur Vermeidung dieses Uebelstandes wird nun vor das Thermometerrohr eine vergrößernd wirkende Glaslamelle angeordnet, so daß die durch diese Lamelle betrachtete Scala vergrößert erscheint.

Rice [2]) empfiehlt spiralförmig gebogene Quecksilberbehälter für Thermometer. Um dem Thermometer eine bei weit gehender Scala geringe Längenausdehnung zu geben, wird nach Raikow (D. R.-P. Nr. 82367) die Capillare zickzack- oder schraubenförmig gewunden. Das Quecksilberthermometer von Erhard und Schonlau (D. R.-P. Nr. 55594) ist dosenförmig.

Quecksilberthermometer mit Hülfsbehälter von Pernet (D. R.-P. Nr. 39828), mit Vergleichsrohr von Raphin (D. R.-P. Nr. 65070).

Thermometer mit Schutzhülse von Rißland (D. R.-P. Nr. 47308) [3]).

Für empfindliche Thermometer empfiehlt Sack (D. R.-P. Nr. 42629) ein Amalgam von Quecksilber mit 0,1 Proc. Silber. Baly empfiehlt für Thermometer für hohe Hitzegrade Füllung mit leichtflüssigen Legirungen.

Quecksilberthermometer mit verschiebbarer Scala von Weißer (D. R.-P. Nr. 44252 u. 59755) [4]).

Thermometer mit Barothermoskop von Salomon [5]).

---

[1]) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1895, 171. — [2]) Fischer's Jahresber. 1886, 336. — [3]) Ebend. 1890, 142. — [4]) Ebend. 1891, 103. — [5]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1893, 377.

Nach Steinle u. Hartung (D. R.-P. Nr. 34328) wird die Thermometerflüssigkeit in ein Metallrohr gefüllt[1]. Später[2]) empfehlen dieselben einen Quecksilberbehälter aus Stahl (D. R.-P. Nr. 39578 u. 49680). — Diese Thermometer sind sehr unzuverlässig.

C. Francke (D. R.-P. Nr. 36476) verwendet einen mit Aether gefüllten Wellblechcylinder, dessen Ausdehnung auf einen Zeiger übertragen wird[3]).

Bei dem Thermometer mit elastischer Metallkugel von H. Zscheye und E. Eichhorn (D. R.-P. Nr. 39249) dient ein aus dünnem Stahlblech hergestellter elastischer Behälter an Stelle der gebräuchlichen Glaskugel zur Aufnahme des Quecksilbers.

Beim Thermometer von Kampf (D. R.-P. Nr. 42500 u. 44735) wird der Druck der ausgedehnten Flüssigkeit auf einen Zeiger übertragen.

Zerlegbares Thermometer von J. Fric (D. R.-P. Nr. 72764). Der Quecksilberbehälter des Thermometers ist in einem Rohre untergebracht und hier von einem die Wärme gut leitenden Uebertragungsstoff (Quecksilber, Zinn u. dergl.) umgeben. Mit dem Rohre ist ein die Thermometerröhre umgebendes Gehäuse derart verbunden, daß man diese Röhre frei legen und das Thermometer mit oder ohne Scala herausheben kann.

Thermometer, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, haben nach W. Donle[4]) den mit Alkohol gefüllten gegenüber den Vortheil, daß kein Ueberdestilliren der Flüssigkeit in das Ende der Capillaren stattfindet. — Lupin (D. R.-P. Nr. 66445) empfiehlt daher eine Chlorcalciumlösung[5]).

Vergleichung des Luftthermometers mit Quecksilberthermometern aus Jenaer Glas. Nach Versuchen von H. F. Wiebe und A. Böttcher[6]) zeigt das Quecksilberthermometer bei der Temperatur t folgende Abweichungen (a) vom Luftthermometer:

t	a	t	a
0	0	160	+ 0,10
20	— 0,08	180	+ 0,06
40	— 0,11	200	— 0,04
60	— 0,10	220	— 0,21
80	— 0,05	240	— 0,46
100	0⁰	260	— 0,82
120	+ 0,05	280	— 1,30
140	+ 0,09	300	— 1,91

Reductionen der Angaben von Quecksilberthermometern auf das Luftthermometer berichtet F. Grützmacher[7]).

Thermometercorrectionen für den herausragenden Faden bespricht ausführlich Rimbach[8]).

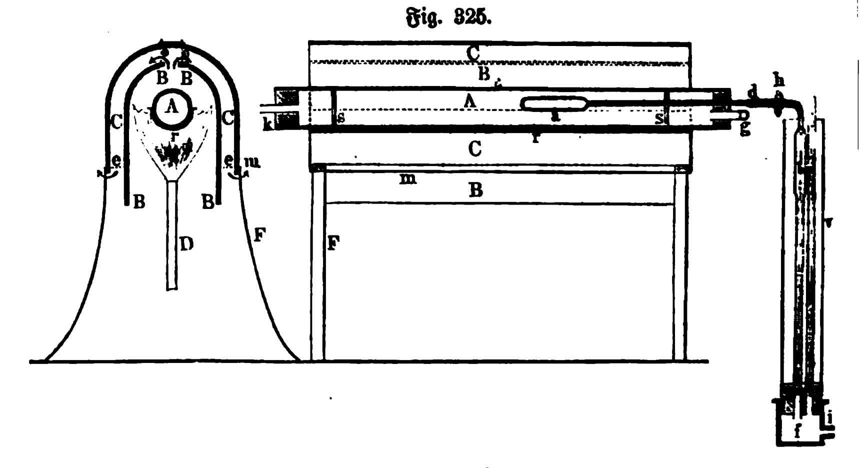
---

1) Fischer's Jahresber. d. chem. Techn. 1886, 385. — 2) Ebend. 1887, 28. — 3) Ebend. 1886, 386. — 4) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1893, 238. — 5) Fischer's Jahresber. 1893, 1183. — 6) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1890, 233. — 7) Ebend. 1895, 250. — 8) Ebend. 1890, 153.

Luftthermometer (vergl. S. 32 u. 321) für Laboratoriumszwecke von L. Meyer[1]), Grassi[2]), Cailletet[3]), Young[4]) und Bottomley[5]), K. Ulsch und Th. Ganzenmüller[6]). V. Meyer[7]) verwendet ein Platingefäß. Um die Temperatur in Porzellanröhren (zur Untersuchung des Verhaltens der Brennstoffe beim Erhitzen in Wasserdampf u. dergl.) zu bestimmen, verwendet Verf.[8]) ein kleines Porzellangefäß (von der kgl. Porzellanmanufactur in Berlin-Charlottenburg nach meinen Angaben geliefert), welches, wie Fig. 325 zeigt, aus einem unten geschlossenen Rohrstücke *a* mit angesetztem Porzellanrohr von nur 1,5 mm innerer Weite besteht. Dasselbe ist bei *d* durch Gummischlauch mit dem engen, dickwandigen Glasrohr verbunden, welches einen Dreiweghahn *h* trägt und in das Meßrohr *b* ausläuft. Dasselbe ist im oberen Theile erweitert, so daß erst bei etwa 400° die aus dem Porzellanrohre *a* verdrängte Luft in den engeren Theil des (verkürzt gezeichneten) Meßrohres tritt. Unten ragt es etwas über den Stopfen der Flasche *f* hervor, während das Standrohr *c* mit demselben abschneidet. Ansatz *i* ist durch einen Kautschukschlauch mit einer Flasche verbunden, welche in der Weise, wie Fig. 352 (S. 635) zeigt, aufgehängt wird. Auf den oberen Theil des Stopfens wird das mit Wasser zu füllende Rohr *r* gesteckt. Die Berechnung der Temperatur geschieht in der bekannten Weise.

Die zu untersuchenden Kohlen oder dergleichen werden in das Porzellanrohr *A* (geliefert von der kgl. Porzellanmanufactur) zwischen zwei Asbestscheiben *s* gefüllt, welche am Umfange etwas ausgezackt sind, damit die durch

Fig. 325.



Rohr *k* eingeführte Luft bezw. Kohlensäure oder Wasserdampf möglichst gleichmäßig den Brennstoff treffen und die kühleren Enden des Rohres frei bleiben. Die gebildeten Gase werden durch Rohr *g* seitlich abgeleitet.

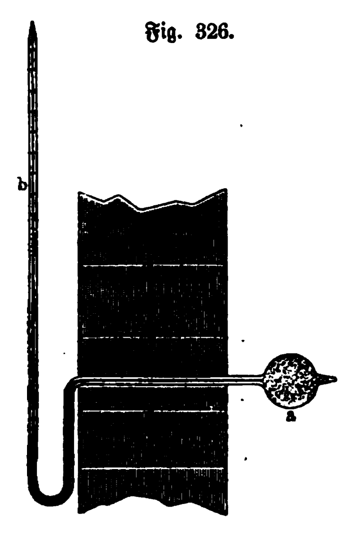
---

[1]) Ber. deutsch. chem. Ges. 1893, 1047. — [2]) Fischer's Jahresber. 1886, 386. — [3]) Compt. rend. 106, 1055 u. 1489; Fischer's Jahresber. 1888, 20. — [4]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1888, 56. — [5]) Fischer's Jahresber. 1889, 67. — [6]) Zeitschr. f. d. ges. Brauwesen 1890, 326. — [7]) Zeitschr. f. physik. Chem. 1887, 145; Fischer's Jahresber. 1887, 26. — [8]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1890, 591.

Das möglichst gleichmäßige Erhitzen des Rohres A vermitteln gebogene Asbestplatten B und C (Fig. 325), welche in doppelter Lage durch mit den Stirnplatten und dem Blechstreifen m verbundene Eisenblechschienen und einige Verbindungsstücke aus starkem Draht (bei e punktirt angedeutet) gehalten werden. Die durch vier Füße F getragenen, innen mit Asbest belegten Stirnplatten sind bis auf die Oeffnung für die Blechrinne r und das Rohr A geschlossen, so daß die von den Flammen der zwölf Brenner D gelieferten heißen Gase gezwungen werden, durch den Raum zwischen B und C wieder nach unten zu ziehen und bei m zu entweichen. Auf diese Weise wird eine ungemein gleichmäßige Erhitzung des Rohres A erzielt [1]).

Beim Luftpyrometer von Heisch und Folkard ist nach F. Hurter [2]) die mit verdünnter Luft gefüllte Glaskugel a (Fig. 326) mit dem Quecksilbermanometer b verbunden. Hurter hält es für vortheilhaft, die Luft bis auf 90 bis 110 mm Druck auszupumpen, und so eine passende Länge der Druckröhre zu erhalten. Damit das Gasvolum in der Glaskugel a immer gleich bleibt, kann die Druckröhre auch geneigt werden, so daß der Quecksilberdruck dem Producte der Länge der Quecksilbersäule und dem Sinus des Neigungswinkels entspricht; die Länge der senkrechten Quecksilbersäule wird durch einen verschiebbaren Maßstab angegeben. Die Theilung geschieht entsprechend der Formel

Fig. 326.



$$Pt : Po = (275 + t) : 275,$$

wenn Pt gleich ist dem der Temperatur t entsprechenden Drucke, Po dem Drucke bei 0° und 1 : 275 der Ausdehnungscoëfficient der Luft im Glase ist. Ein solches Thermometer mit 30 bis 40 ccm großer Kugel, 2 mm weiter Manometerröhre und 100 mm Vacuum war nach Hurter's Versuchen bis auf 2 Proc. genau. Zum Messen von Temperaturen über 500° ist dasselbe wohl nicht verwendbar und ist hier nach Hurter das Calorimeter von F. Fischer (S. 620) vorzuziehen.

Das Luftthermometer von O. Knöfler (D. R.-P. Nr. 40081 u. 43603) besteht aus einem mit luftdicht eingeschliffenem Hahn versehenen Gefäße aus Metall oder Porzellan, welches der zu messenden Temperatur ausgesetzt wird. Die aus Blei oder Zinn hergestellte Rohrleitung führt zu dem im Beobachtungsraume aufgestellten Druckmesser und endet wieder in der Nähe des Behälters in einem luftdicht schließenden Hahne. Als Druckmesser dient ein Plattenmanometer [3]).

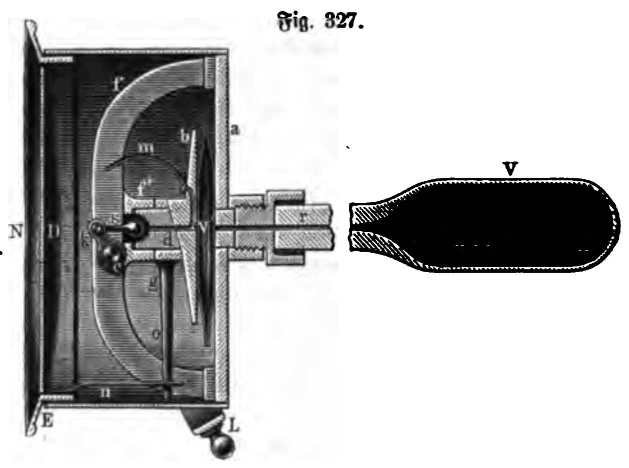
---

1) Vergl. Fischer's Jahresber. 1884, 1317. — 2) Journ. Soc. Chem. Industr. 1886, 634. — 3) Fischer's Jahresber. 1888, 21.

Das Luftpyrometer von Wiborg (D. R.-P. Nr. 43958) ist wenig einfach [1]; dasselbe ist neuerdings [2] verbessert (Fig. 327).

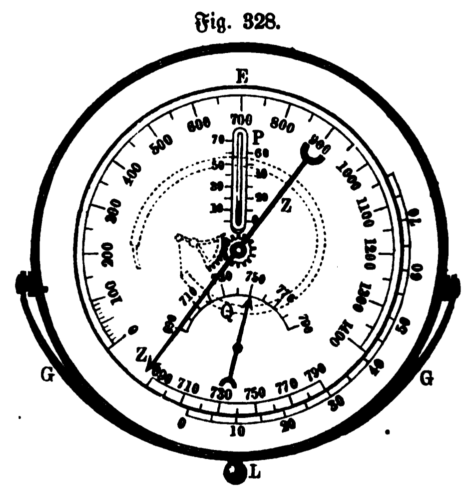
Die äußere Umkleidung des Instrumentes bildet eine runde Metalldose mit starkem Boden a, auf welchem das aus der Kugel V und dem Haarröhr-

Fig. 327.



chen r zusammengesetzte Pyrometerrohr festgeschraubt ist. Innerhalb der Dose und nahe dem Boden a ist ein linsenförmiges, aus Metall gefertigtes Gefäß V' von solcher Form und Elasticität befestigt, daß es sich vollständig zusammenpressen läßt und darauf seine vorherige Form wieder annimmt. Auf der diesem Gefäße entgegengesetzten Seite ist eine Metallplatte b mit cylindrischem Zapfen d befestigt, welcher ebenfalls mit einem Haarröhrchen versehen ist. Da ferner nun auch das linsenförmige Gefäß auf beiden Seiten dem erwähnten Haarröhrchen entsprechende Oeffnungen besitzt, so stehen die Luftvolumina V und V' mit der äußeren Luft in Verbindung. An der Bodenplatte a ist ein Eisenbügel f festgeschraubt, der als Stütze einer Welle c dient, mit deren Hülfe das Gefäß V' zusammengepreßt wird. Zu diesem Zwecke ist die Welle mit einem kurzen

Fig. 328.



[1] Fischer's Jahresber. 1888, 23; 1889, 68. — [2] Jernkont. Ann. 1891; Stahleisen 1891, 915.

Hebelarm k versehen, welcher auf einen kleinen Stab s wirkt, der bei Drehung der Welle niedergeht, die Oeffnung des Haarröhrchens verschließt und den Zapfen d mit der Platte b niederdrückt, wobei das linsenförmige Gefäß V' so zusammengepreßt werden kann, daß alle vorher in demselben befindliche Luft in die Kugel des Pyrometerrohres V eintritt.

Bevor der hierbei entstehende Druck gemessen wird, wird das Haarröhrchen des Zapfens durch ein feines Bleirohr m mit einer Manometerfeder verbunden, die in gewöhnlicher Weise mittelst Zahnübersetzung (diese Anordnung ist mit punktirten Linien in Fig. 328 angedeutet) auf den Zeiger Z die Bewegung überträgt, welche der vermehrte Druck bei der Feder veranlaßt. Das Bleirohr m muß natürlich gebogen und lang genug sein, damit sein inneres Ende dem Zapfen d zu folgen vermag, sobald das Gefäß V' zusammengepreßt wird. Um die Welle drehen zu können, ist dieselbe in Lager eingelegt, welche in den Wänden der Metalldose angebracht sind, und beide Zapfen der Welle werden mittelst eines gabelförmigen Hebelarmes G mit einander verbunden, der mit einem kleinen Handgriffe L versehen ist. Wird keine Temperaturmessung vorgenommen, so stehen die Luftvolumina V und V' mit der äußeren Luft in Verbindung und der Stab s schließt die Haarröhrchenöffnung nicht, deshalb ist auch eine am Bügel f befestigte und auf die Welle c gewickelte Spiralfeder vorhanden, welche den Hebelarm G in der durch Fig. 327 gezeigten Lage festhält. Diese Spiralfeder ist indessen in der Figur nicht angegeben.

Da das Gefäß V' nach Belieben zusammengedrückt werden kann und somit ein größeres oder kleineres Luftvolumen enthält, ist damit ein ganz einfaches Mittel gegeben, eine Correction für den Barometerdruck und für die innere Temperatur zu bewerkstelligen. Es erhellt dies leicht aus der auch für diese Construction des Pyrometers gültigen Formel:

$$h = \frac{\frac{H V'}{1 + \alpha t}}{\frac{V}{1 + \alpha T}},$$

weil aus derselben ersichtlich, daß, wenn beim Aufreißen der Temperaturscala des Pyrometers $t = 0$ ist, d. h. nach der Formel:

$$h = \frac{H V'}{\frac{V}{1 + \alpha T}},$$

und alsdann die äußere Temperatur sich auf t^0 verändert, man nur das Luftvolumen, welches eingepreßt werden soll, auf $V' (1 + \alpha t)$ zu vergrößern hat, um denselben Werth zu erhalten, als wäre $t = 0^0$.

Der Barometerdruck H wirkt dagegen in entgegengesetzter Richtung, so daß, je größer derselbe, um so kleiner V' ausfällt, wenn der Werth von h unverändert bleiben soll. Die Temperatur und der Barometerdruck H stehen dabei in einem gewissen Verhältniß zu einander, und es ist leicht berechnet, daß, wenn der Barometerdruck um 78 mm größer wurde, um den Werth von h unverändert zu erhalten, das Volumen V' um so viel verkleinert werden muß, als wäre die Temperatur t um 30^0 gesunken. Demnach ist dieselbe Scala

für jede beliebige Außentemperatur und jedweden Barometerdruck verwendbar, vorausgesetzt, das einzupressende Luftvolumen V' wird in einem, den augenblicklichen Verhältnissen entsprechenden Maße verändert. Um dieses Correctionsverfahren für das Instrument praktisch zu gestalten, wird der Zapfen d mit einem beweglichen Ringe g umgeben, dessen äußere Endfläche eben ist und von dem elastischen Gefäße V' gegen den Bügelvorsprung f angepreßt gehalten wird, während sein anderes Ende die Form eines Schraubengewindes hat und in ein entsprechendes Gewinde im Inneren des Zapfens nahe der Platte b eingreift. Wird der Ring g gedreht, so wird die Metallplatte b gehoben oder gesenkt und dadurch wird eine Volumenveränderung beim Gefäße V' hervorgebracht. Dieses Drehen wird mittelst des drehbaren Deckels der Metalldose bewirkt, welcher aus einem größeren Metallringe g besteht, in welchen die Glasscheibe N eingesetzt ist. Vom Deckel geht ein Metallstab n aus, welcher gabelförmig einen anderen vom Ringe g ausgehenden Stab o umfaßt, mit dessen Beihülfe die Bewegung von dem einen Ringe auf den anderen übertragen wird.

Auf einer am Bügel befestigten Zeigertafel D ist sowohl die Temperaturscala des Pyrometers als auch eine andere kleinere Scala aufgerissen, die zur Correction des Barometerdruckes angewendet wird; letztere Scala, welche verschiedenen Barometerdruck enthält, ist abwärts entlang der Kante der Tafel nahe dem Ringe E gradirt. Die Tafel ist weiter noch mit einem Thermometer P versehen, das die Temperatur t des Luftvolumens V' angibt, welches eingepreßt werden soll, und außerdem mit einem kleinen Aneroidbarometer Q. Auf dem beweglichen Ringe E ist ferner eine Temperaturscala angebracht, mit deren Hülfe die Correction der Temperatur t ausgeführt wird. Zu diesem Zwecke muß die Scala so gradirt sein, daß, wenn der Ring E um so viel gedreht wird, als dem Abstande von 0^0 bis t^0 auf der Scala entspricht, durch das Volumen des linsenförmigen Gefäßes V' auf $V' (1 + {}_at)$ vergrößert wird. Die Barometerscala der Zeigertafel muß mit ihrer Eintheilung gleichzeitig so im Verhältniß zur Temperaturscala des Ringes angepaßt sein, daß ein Unterschied im Barometerdruck von 78 mm bei ihr ebenso viel Raum einnimmt, als 30^0 auf der letzteren. Ist das Instrument in Rücksicht auf diese Scalen richtig gestellt, so ist bei einer Beobachtung nur nöthig, den Ring E so zu drehen, daß vom Thermometer P und vom Barometer Q angegebene Temperatur und Barometerdruck auf den bezüglichen Scalen gerade unter einander zu stehen kommen; damit ist eine vollständige Correction erreicht, und die richtige Temperatur T kann direct vom Instrumente und ohne jede weitere Berechnung abgelesen werden. Der Zeiger Z, welcher seine Bewegung durch vergrößerten Druck auf die Manometerfeder empfängt, gibt die Temperatur T auf der Scala der Zeigertafel an. Wenn eine Beobachtung nicht stattfindet, steht der Zeiger natürlich auf dem Nullpunkte der Scala, weil stets ein gewisser Ueberdruck erforderlich ist, um das Luftvolumen V' in V hineinzupressen, auch wenn beide nur eine Temperatur von 0^0 besitzen; der Zeiger muß also dabei jederzeit um etwas steigen.

Soll eine Temperatur mit dem Instrumente gemessen werden, so wird

zuerst der Ring E in die richtige Lage eingedreht, man erfaßt alsdann mit dem Zeigefinger den Knopf L, stützt den Daumen gegen die Glasscheibe und zieht den Knopf L gerade und fest so lange gegen sich, als dies möglich und bis der Zeiger Z stehen bleibt. Bei diesem Anziehen des Knopfes wird der Stab s niedergedrückt, schließt die Oeffnung des Haarröhrchens und preßt ferner den Zapfen d mit der Metallscheibe b nieder, welche bei genügendem Drucke das Gefäß V' gänzlich zusammendrückt, wobei dessen Luftinhalt in die Kugel V des Pyrometerrohres eintritt. Je nachdem diese erhitzt ist, wird dazu ein stärkerer oder geringerer Druck erforderlich, welchen das Bleirohr m auf die Manometerfeder überträgt. Diese verändert hierbei ihre Lage und überführt die Bewegung auf den Zeiger Z, der nun in die Höhe geht und bei der Gradzahl der Scala stehen bleibt, welche der Temperatur des Pyrometerrohres entspricht. Nachdem man die Temperatur abgelesen, gibt man den Knopf L wieder frei, der nun, in Folge der Elasticität des Gefäßes V' und bewegt durch die auf die Welle c aufgewickelte Spiralfeder, zurückspringt, wobei das Haarröhrchen wieder geöffnet wird und der Zeiger in seine ursprüngliche Lage niedergeht. Die Messung ist innerhalb weniger Augenblicke ausgeführt und kann von Jedermann vorgenommen werden. Der gabelförmige Hebelarm G, an welchem der Knopf L festgemacht ist, besteht aus einer Metallfeder, welche durch mäßiges Zurückbiegen von den Wellenzapfen gelöst und fortgenommen werden kann, sobald man die Benutzung des Instrumentes seitens Unberufener unmöglich zu machen wünscht. Um die Zerbrechlichkeit des Porzellanrohres des Instrumentes zu mindern und um zu gestatten, daß dasselbe unmittelbar in hohe Temperatur gebracht wird, ohne zu springen, wird dasselbe mit Asbestdraht umwunden und in ein Rohr von Eisenblech verpackt, welches ebenfalls eine schwache Umhüllung aus Chamotte, Quarz und ungebranntem Thon erhält.

Das Luftthermometer von Callendar (D. R.-P. Nr. 62796) ist mit Ausgleichbehälter versehen [1]).

Gasthermometer, mit Stickstoff, Wasserstoff oder Kohlensäure gefüllt, weichen nach P. Chappuis [2]) nicht allein vom Quecksilberthermometer, sondern auch unter einander etwas ab.

Temperaturmessungen durch den erhöhten Reibungswiderstand der erwärmten Luft wurden von Frew (S. 323) gemacht. — Nach E. A. Uehling und A. Steinbart (D. R.-P. Nr. 80079) wird ein Fluidum vermittelst Druck oder Saugung zuerst durch einen Raum von constanter Temperatur und dann durch eine enge Oeffnung, hierauf in einen Raum, dessen Temperatur gemessen werden soll, und schließlich wiederum durch eine enge Oeffnung getrieben. Die zwischen den beiden Oeffnungen auftretende Spannungsänderung, welche von dem Temperaturwechsel abhängt, wird als Maß für die zu bestimmende Temperatur benutzt.

Nach C. Barus [3]) erhöht sich die Reibung der Gase mit steigender

1) Fischer's Jahresber. 1892, 583. — 2) Arch. sc. phys. nat. 20, Nr. 9 (1869). — 3) Fischer's Jahresber. 1890, 147.

Temperatur, und zwar porportional der $\sqrt[3]{T^2}$. Läßt man also durch ein enges Rohr unter constantem Druck Luft hindurchstreichen, so werden gleiche Mengen bei niederer Temperatur in kürzerer, bei höherer Temperatur in längerer Zeit hindurchtreten. Aus der beobachteten Zeit, welche nöthig ist, damit z. B. 50 ccm austreten, läßt sich die Temperatur berechnen. Wegen der Einwirkung der Wärme auf das Rohr kommt im Endresultate nicht die $^2/_3$-Potenz, sondern $T^{3/5}$ in Rechnung. Der Apparat besteht hauptsächlich aus einem capillaren Platinrohre von 0,3 mm innerem Durchmesser, welches zu einer schraubenförmigen Spirale aufgewunden ist und wenig Platz einnimmt. Die zu beobachtenden Zeiten sind, wie aus der Formel ersichtlich, in hohem Maße von der Temperatur abhängig. So treten 50 ccm aus bei 7° in 165 Secunden, bei 460° in 750 und bei 1200° in 2370 Secunden.

Temperaturfernmelder wurden mehrere vorgeschlagen. Die Vorrichtung von A. Hildebrand (D. R.-P. Nr. 76951) besteht aus zwei Apparaten, welche durch eine aus drei Drähten bestehende Leitung verbunden sind. Der erstere derselben überträgt vermittelst der Leitung die Temperaturangaben eines Metallthermometers auf den zweiten Apparat, von welchem sie sichtbar gemacht werden.

Nach Reuland (D. R.-P. Nr. 35450) wird die Längenveränderung zweier Metallstangen elektrisch übertragen. Nach Rennert u. Zetzsche (D. R.-P. Nr. 78080) sind die Gegencontacte, mit welchen das frei schwingende Ende des Zeigers des Metallthermometers in Berührung tritt, beweglich angeordnet und zu Elektromagnetankern ausgebildet.

Koch (D. R.-P. Nr. 56104) überträgt die Ausdehnung eines Kupferstabes auf Papier.

Temperaturfernmelder von H. Hartl (D. R.-P. Nr. 67156) ist wesentlich ein U-Rohr, dessen einer Schenkel mit Aether, der andere mit Alkohol gefüllt ist, deren Bewegung elektrisch übertragen wird.

Stuhl [1]) verwendet Quecksilberthermometer mit eingeschmolzenen Platindrähten und elektrischer Uebertragung; desgl. Prößdorf u. Koch (D. R.-P. Nr. 37921).

Beim Thermometer von C. F. W. Döring in Leipzig (D. R.-P. Nr. 37476) wird bei Ueberschreitung der beabsichtigten Temperaturgrenzen mit Hülfe des elektrischen Stromes durch einen Farbstift auf einem Papierstreifen ein Strich gemacht, aus dessen Länge die Dauer der Unregelmäßigkeit ersehen werden kann [2]).

Entsprechende Vorrichtungen beschreiben Prößdorf u. Koch in Leipzig (D. R.-P. Nr. 37921), C. Ruhfus u. H. Dankers in Dortmund (D. R.-P. Nr. 38989) u. C. G. Hoffmann in Leipzig (D. R.-P. Nr. 39259) [3]).

---

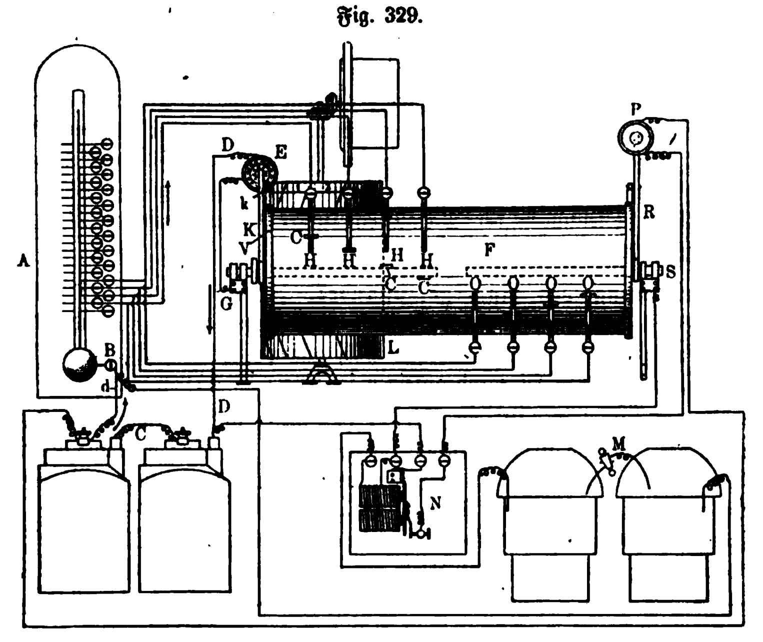
[1]) Fischer's Jahresber. 1889, 67. — [2]) Zeitschr. f. chem. Industr. 1887, 67. — [3]) Fischer's Jahresber. 1887, 29.

Hartl (D. R.-P. Nr. 59682) verwendet ein Dampfspannungsthermometer zur Fernmeldung [1]).

Luftthermometer mit Fernmeldung von Schwackhöfer (D. R.-P. Nr. 50884) [2]) und A. Keitel (D. R.-P. Nr. 76934).

Registriren von Wärmegraden. Um nach H. Hallensleben, Fig. 329 (D. R.-P. Nr. 73911), die Angaben eines Quecksilberthermometers an einem mehr oder weniger von demselben entfernten Orte registriren zu können, sind bei den einzelnen Graden Drähte in dasselbe eingeführt, welche mit Contactfedern *H* verbunden sind. Letztere schleifen auf einer Trommel *F* aus nichtleitendem Material, in welcher mit der leitenden Achse in Verbindung stehende

Fig. 329.



Contactstücke *C* angeordnet sind. Sobald nun die Temperatur steigt (z. B. 11° erreicht), geht der Strom von der Batterie *C* durch den in die Kugel *B* des Thermometers eingeführten Draht *d*, die Quecksilbersäule und den zugehörigen Contacten *H* und *C* zu der Achse der Trommel, von dieser durch den Schleifcontact *G* zu dem Elektromagneten *E*, von dem er durch Draht *D* zu der Batterie *C* zurückgeht. Der durch den Strom erregte Magnet *E* zieht den Ankerhebel *K* an, dessen Schaltklinke *k* in ein auf der Trommel befestigtes Zahnrad *r* eingreift. Bei der so bewirkten Drehung der Trommel *F* wird der Strom unterbrochen und der zu dem nächst höheren Temperaturgrade gehörige Schleifcontact *H* tritt mit dem zugehörigen Contactstücke *C* der Trom-

[1]) Fischer's Jahresber. 1891, 104. — [2]) Ebend. 1890, 146.

mel in Berührung, so daß sich bei einem weiteren Steigen der Temperatur um 1° der beschriebene Vorgang wiederholen kann. Die Bewegung der Contacttrommel *F* wird auf ein Zeigerwerk übertragen und auf einer durch ein Uhrwerk in Drehung versetzten Trommel *L* registrirt.

Um die Vorrichtung auch bei sinkender Temperatur in Thätigkeit zu setzen, ist mit den Klemmen der einzelnen Wärmegrade, sowie der Klemme *B* eine Ruhestrombatterie *M* verbunden, welche, so lange der Strom geschlossen ist, den Anker des Relais *N* festhält. Der Strom der Batterie *M* wird zu diesem Relais durch den anderen Zapfen *S*, der Trommel *F* und durch gleichfalls auf der Trommel *F* schleifende Federn *O*, sowie denjenigen Grad zur Klemme *B* geführt, dessen Feder *O* mit dem in der Trommel eingelassenen Metallstück in Contact steht. Sobald nun bei sinkender Wärme die Quecksilbersäule unterhalb dieses Wärmegrades gelangt, ist der Ruhestrom unterbrochen, das Relais *N* läßt den Anker los, und dieser schließt nun eine von der Batterie *C* zum Elektromagneten *P* führende Leitung, in Folge dessen ein an dieser Seite der Trommel in entgegengesetzter Richtung, wie der zuerst beschriebene, arbeitender Schalthebel *R* angezogen wird und die Trommel zurückdreht, wodurch sowohl die Wärmeabnahme registrirt, als auch die entsprechende, für die gleichen Functionen erforderlichen Stellungen der Metallstücke unter die Schleiffedern *H* und *O* herbeigeführt wird.

Aenderung des Aggregatzustandes. H. Gebhardt (D. R.-P. Nr. 50888) setzt eine Schmelzmasse in einem Tiegel der zu messenden Temperatur aus; auf der Masse ruht ein nach außen führender Thonstab, dessen Sinken den fraglichen Hitzegrad anzeigen soll (vgl. S. 43).

Die Seger'schen Normalkegel (S. 325) finden Anwendung besonders in der Thonindustrie, bei Gasretorten u. s. w.[1]). Cramer und Hecht[2]) haben durch Einführung von Borsäure auch solche für mittlere und niedere Temperaturen dazugefügt. Danach ergiebt sich folgende Reihe; die beigefügten Temperaturen sind theils von Hecht[3]) mit dem Le Chatelier'schen elektrischen Pyrometer bestimmt, theils danach geschätzt:

Kegel-Nummer	Chemische Zusammensetzung			Geschätzte Temperatur
022	0,5 Na_2O / 0,5 PbO	—	2 SiO_2 / 1 B_2O_3	590
021	0,5 Na_2O / 0,5 PbO	0,1 Al_2O_3	2,2 SiO_2 / 1 B_2O_3	620
020	0,5 Na_2O / 0,5 PbO	0,2 Al_2O_3	2,4 SiO_2 / 1 B_2O_3	650
019	0,5 Na_2O / 0,5 PbO	0,3 Al_2O_3	2,6 SiO_2 / 1 B_2O_3	680

[1]) Fischer's Jahresber. 1887, 30. — [2]) Ebend. 1892 640; 1895, 747. — [3]) Thonindustr.-Ztg. 1896, Nr. 18.

Kegel-Nummer	Chemische Zusammensetzung			Geschätzte Temperatur
018	0,5 Na_2O 0,5 PbO	0,4 Al_2O_3	2,8 SiO_2 1 B_2O_3	710
017	0,5 Na_2O 0,5 PbO	0,5 Al_2O_3	3 SiO_2 1 B_2O_3	740
016	0,5 Na_2O 0,5 PbO	0,55 Al_2O_3	3,1 SiO_2 1 B_2O_3	770
015	0,5 Na_2O 0,5 ObO	0,6 Al_2O_3	3,2 SiO_2 1 B_2O_3	800
014	0,5 Na_2O 0,5 PbO	0,65 Al_2O_3	3,3 SiO_2 1 B_2O_3	830
013	0,5 Na_2O 0,5 PbO	0,7 Al_2O_3	3,4 SiO_2 1 B_2O_3	860
012	0,5 Na_2O 0,5 PbO	0,75 Al_2O_3	3,5 SiO_2 1 B_2O_3	890
011	0,5 Na_2O 0,5 PbO	0,8 Al_2O_3	3,6 SiO_2 1 B_2O_3	920
010	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,50 SiO_2 0,50 B_2O_3	950
09	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,55 SiO_2 0,45 B_2O_3	970
08	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,60 SiO_2 0,40 B_2O_3	990
07	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,65 SiO_2 0,35 B_2O_3	1010
06	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,70 SiO_2 0,30 B_2O_3	1030
05	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,75 SiO_2 0,25 B_2O_3	1050
04	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,80 SiO_2 0,20 B_2O_3	1070
03	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,85 SiO_2 0,15 B_2O_3	1090
02	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,90 SiO_2 0,10 B_2O_3	1110
01	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	3,95 SiO_2 0,05 B_2O_3	1130
1	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,2 Fe_2O_3 0,3 Al_2O_3	4 SiO_2	1150
2	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,1 Fe_2O_3 0,4 Al_2O_3	4 SiO_2	1170
3	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,05 Fe_2O_3 0,45 Al_2O_3	4 SiO_2	1190
4	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,5 Al_2O_3 4 SiO_2		1210
5	0,3 K_2O 0,7 CaO	0,5 Al_2O_3 5 SiO_2		1230

Kegel-Nummer	Chemische Zusammensetzung	Geschätzte Temperatur
6	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 0,6 Al_2O_3 6 SiO_2	1250
7	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 0,7 Al_2O_3 7 SiO_2	1270
8	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 0,8 Al_2O_3 8 SiO_2	1290
9	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 0,9 Al_2O_3 9 SiO_2	1310
10	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 1,0 Al_2O_3 10 SiO_2	1330
11	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 1,2 Al_2O_3 12 SiO_2	1350
12	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 1,4 Al_2O_3 14 SiO_2	1370
13	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 1,6 Al_2O_3 16 SiO_2	1390
14	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 1,8 Al_2O_3 18 SiO_2	1410
15	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 2,1 Al_2O_3 21 SiO_2	1430
16	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 2,4 Al_2O_3 24 SiO_2	1450
17	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 2,7 Al_2O_3 27 SiO_2	1470
18	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 3,1 Al_2O_3 31 SiO_2	1490
19	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 3,5 Al_2O_3 35 SiO_2	1510
20	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 3,9 Al_2O_3 39 SiO_2	1530
21	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 4,4 Al_2O_3 44 SiO_2	1550
22	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 4,9 Al_2O_3 49 SiO_2	1570
23	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 5,4 Al_2O_3 54 SiO_2	1590
24	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 6,0 Al_2O_3 60 SiO_2	1610
25	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 6,6 Al_2O_3 66 SiO_2	1630
26	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 7,2 Al_2O_3 72 SiO_2	1650
27	$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}$ 20 Al_2O_3 200 SiO_2	1670
28	Al_2O_3 10 SiO_2	1690

Kegel-Nummer	Chemische Zusammensetzung	Geschätzte Temperatur
29	Al_2O_3 8 SiO_2	1710
30	Al_2O_3 6 SiO_2	1730
31	Al_2O_3 5 SiO_2	1750
32	Al_2O_3 4 SiO_2	1770
33	Al_2O_3 3 SiO_2	1790
34	Al_2O_3 2,5 SiO_2	1810
35	Al_2O_3 2 SiO_2	1830
36	Al_2O_3 2 SiO_2	1850

Zum Niederschmelzen von Kegel 26 sind die höchsten, bislang in größeren technischen Ofenanlagen nur vereinzelt erreichbaren Temperaturen erforderlich; zu gleicher Zeit entspricht dieser Kegel dem Schmelzpunkte derjenigen Thone, welche in der Thonwaarenindustrie als die niedrigst schmelzenden, feuerfesten Materialien angesehen werden. Zur Bestimmung der Feuerfestigkeit von Thonen und zugehörigen Materialien im Deville'schen Gebläseofen sind daher vom Laboratorium für Thonindustrie in Berlin an Kegel 26, unter Herabminderung der Flußmittel und schließlich unter gänzlichem Fortlassen derselben, die in ihrem Schmelzpunkte bis zur Platinschmelzhitze hinaufreichenden Mischungen 27 bis 36 angeschlossen worden.

Schmelzpunkte der Metalle bestimmten Hollborn und Wien [1]):

Silber	zwischen	954	und	986°,	im Mittel	970°,
Gold	„	1045	„	1093	„ „	1069
Kupfer	„	1054	„	1097	„ „	1076
Nickel	„	1476	„	1517	„ „	1496
Palladium	„	1500	„	1643	„ „	1572
Platin	„	1757	„	1855	„ „	1806

Bestimmung von Schmelzpunkten bei Glühhitze von V. Meyer, W. Riddle und Th. Lamb [2]); die Temperatur wurde mit einem aus Platin hergestellten Luftthermometer bestimmt. Es wurde eine kleine Probe in einer ziemlich engen Platinröhre (von etwa 5 mm lichter Weite), deren Wandstärke der des Luftthermometers annähernd gleich war, unmittelbar neben das Luftthermometer gebracht, indem sie an demselben mit starkem Platindraht befestigt wurde, Thermometer und Substanzprobe wurden dann in ein geschmolzenes Salz, das als Erhitzungsbad diente, eingetaucht und der Augenblick der Verflüssigung der Substanzprobe beobachtet. Die Bestimmungen ergaben folgende Schmelzpunkte:

Chlornatrium	815,4°	Chlorkalium	800,0°
Bromnatrium	757,7	Bromkalium	722,0
Jodnatrium	661,4	Jodkalium	684,7

[1]) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1892, 259; Ann. d. Phys. u. Chem. 1895, 276. — [2]) Ber. deutsch. chem. Ges. 1894, 3129.

Kohlensaures Natrium	849,2°	Jodcäsium	621,0°
Kohlensaures Kalium	878,6	Chlorcalcium	806,4
Schwefelsaures Natrium	863,2	Chlorstrontium	832,0
Schwefelsaures Kalium	1078,0	Chlorbaryum	921,8
Jodrubidium	641,5		

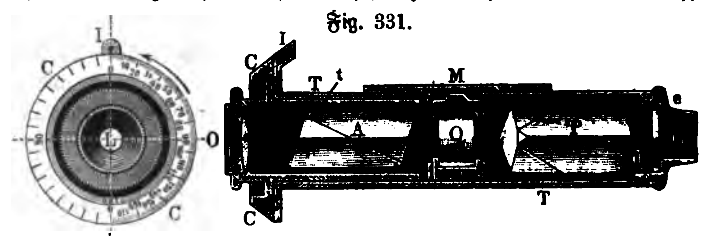
Das **pyrometrische Sehrohr** von Mesuré und Nouel [1]) besteht im Wesentlichen aus zwei Nicol'schen Prismen, dem Polarisator *P* (Fig. 330 u. 331) und dem Analysator *A*, deren Einfallsebenen unter einem Winkel von 90° zu einander gestellt sind. Zwischen den beiden Prismen findet sich eine, lothrecht auf die Achse geschnittene Quarzscheibe *Q*. Die abnehmbare Hülse *M* gestattet, die Quarzplatte rasch zu entfernen, um sich von der richtigen Stellung der beiden Nicols zu einander zu überzeugen. Dem Ocular *L* steht am anderen Ende des Rohres das Objectiv *G* gegenüber, welches aus einem Parallelglase oder aus einem gut polirten zerstreuenden Glase besteht. Beim Austritte des

Fig. 330.



leuchtenden ordentlichen Lichtstrahls aus dem Nicol *P* wird derselbe in einer durch den Hauptquerschnitt dieses Polarisators bestimmten Ebene polarisirt. Würde er nun unmittelbar in das zweite Prisma *A*, dessen Hauptquerschnitt senkrecht gegen das erstere gestellt ist, eintreten können, so müßte er vollkommen erlöschen. Durch die dazwischen angebrachte Quarzscheibe wird aber die Polarisationsebene gedreht, welche nun schief zur Einfallsebene des Analysators

Fig. 331.



zu stehen kommt, so daß ihn der Strahl durchdringen kann, ohne vollkommen zu erlöschen. Nach dem Biot'schen Gesetze ist nun die Drehung der Polarisationsebene, also der Ablenkungswinkel, porportional zur Dicke der Quarzscheibe und steht ungefähr im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Lichtwellenlänge. Da nun die Länge der Wellen mit der Farbe wechselt, welche wieder von der Beschaffenheit der einfachen Strahlen des durch das Licht zugeführten

[1]) Arch. sc. phys. nat. 20, Nr. 9; Fischer's Jahresber. 1888, 24; 1889, 63.

ordentlichen Lichtstrahles abhängt, so muß die beobachtete Ablenkung unmittelbar mit der Farbe dieses ordentlichen Lichtstrahles in Beziehung stehen. Um diese Ablenkung zu messen, ist der Analysator A im Innern des Rohres beweglich, so daß dessen Einfallsebene in einen Winkel zum Polarisator P gebracht werden kann. Zur Messung dieses Winkels dient der Zeiger I, an dem eine Gradeintheilung vorbeigeht, welche an dem beweglichen, die Linse L und den Analysator A enthaltenden Theile des Sehrohres angebracht ist. Beobachtet man durch dasselbe einen glühenden Körper, so wird man, da die Proportionen der von ihm ausgehenden einfachen Lichtstrahlen je nach der Temperatur verschieden sind, das Licht bei langsamer Drehung des Analysators in bestimmten, aber nach der Temperatur verschiedenen Farben wahrnehmen. Dem Uebergange von einer Farbenabstufung zur anderen wird ein bestimmter Drehungswinkel entsprechen, der je nach der Farbe des glühenden Körpers variiren wird. Bei einem gewissen Punkte angelangt, wird die Farbe ganz verschwinden und der dann gebildete Winkel könnte zur Bestimmung der Temperatur dienen. Bei der Beobachtung gelangt man aber an eine Drehstellung, bei welcher die Farbe, durch eine weitere nur leichte Drehung des Analysators A, rasch von Grün in Roth übergeht. Zwischen diesen beiden Farben nimmt man aber leicht eine andere, citronengelbe, sogenannte Uebergangsfarbe wahr. Bei dieser Mischfarbe angelangt, ist die Drehung des Analysators zu hemmen, denn bei derselben gibt der Zeiger I die der Temperatur des glühenden Körpers entsprechenden Grade an. Man hat auf diesem Wege auf der Hütte zu St. Jacques in Montluçon, wo das pyrometrische Sehrohr zuerst eingeführt wurde, folgende Temperaturabstufungen festgestellt:

Grade des Quadranten	entsprechend einer Temperatur	den Farben der Pouillet'schen Scala
40°	900°	kirschroth,
45	1000	hellroth,
52	1100	dunkelorange,
61	1200	hellorange,
62	1300	weiß.

Dem Pyrometer von Mesuré und Nouel (geliefert von E. Ducretet, 75 Rue Claude de Bernard in Paris) wird eine Gebrauchsanweisung beigegeben:

„Es genügt, den glühenden Körper durch das Beobachtungsglas und das Augenglas langsam in der Richtung seiner Gradeintheilung (von rechts nach links) zu drehen. Man findet bald eine Stellung, zwischen 20 und 90° wechselnd, in welcher die wahrzunehmende Färbung sehr schnell vom Grün zum Roth übergeht. Dieser Uebergang vollzieht sich bei einem Theilpunkte, welcher gemäß der Abstufung der Lichtnüance (und in Folge der Temperatur) des glühenden Körpers verschieden ist. Der Uebergang vom Grün zum Roth vollzieht sich durch eine geringe Drehung des Winkels des Analysators. Zwischen diesen beiden Farben beobachtet man leicht eine Uebergangsfarbe von dem Tone des schmutzigen Citronengelb. Diese Durchgangsfarbe muß man beobachten und bei ihr mit dem Drehen des Analysators anhalten" u. s. w.

Man hat nun einfach die Zahl der Grade abzulesen, und es entsprechen nach der beigegebenen Tabelle:

40 Theilstriche der Scheibe	900°	erscheinen als kirschroth,
45 „ „ „	1000	„ „ hellroth,
52 „ „ „	1100	„ „ dunkelorange,
61 „ „ „	1200	„ „ hellorange,
62 „ „ „	1300	„ „ weiß.

H. Hecht[1]) hat dieses optische Pyrometer in der kgl. Porcellanmanufactur mit Seger'schen Normalkegeln verglichen. Danach arbeitet es sich mit diesem anscheinend einfachen Apparate doch nicht leicht. Besonders für Temperaturen über 1000° wird das Arbeiten damit sehr erschwert, weil große Temperatursteigerungen durch geringe Aenderung der Ablesung angezeigt werden sollen, z. B. von 1200 bis 1300° durch nur einen Theilstrich, während zwei unmittelbar hinter einander ausgeführte Ablesungen um zwei Theilstriche verschieden ausfallen können. — Beobachtet man einen Ofen, in dem sich eine mächtige Flamme entwickelt, oder bei dessen Betrieb hier oder da helle Stichflammen vorschießen, so wird dadurch ein ruhiges Einstellen auf die Uebergangsfarbe wesentlich erschwert und die Beobachtung unzuverlässig. Durch die hellere Flamme oder durch die dunkler erscheinenden Rauchwolken wird die Lichterscheinung der Flamme bestimmt, aber nicht die Temperatur des glühenden Körpers, wie es beabsichtigt und doch auch von größerer Wichtigkeit ist. Hat man längere Zeit einen in hoher Glut (wie etwa Feldspathschmelze oder Gutbrand von Hartporcellan) sich befindenden Ofen mit dem Pyrometer beobachtet und geht dann an eine Muffel, welche man auf Silberschmelze oder auf etwa Muffelfeuer abbrennen will, so ist man ganz außer Stande, dieselben Grade auf der Scheibe des Beobachtungsglases abzulesen, wie man es bei ausschließlicher Beobachtung ein und derselben Muffel sonst ermöglichen kann.

Zur optischen Bestimmung hoher Temperaturen wird nach H. le Chatelier[2]) von der gesammten Strahlung durch ein rothes Glas ein beschränkter Wellenlängenbereich ausgesondert und mit einer kleinen Erdöllampe verglichen (J. 1893). Die Erdöllampe L (Fig. 332 und 333) ist mit dem

Fig. 332.

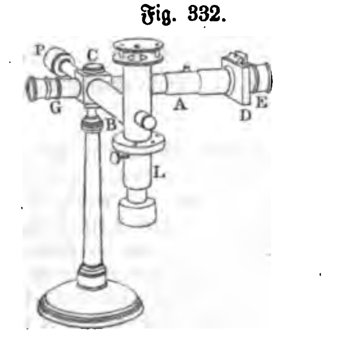
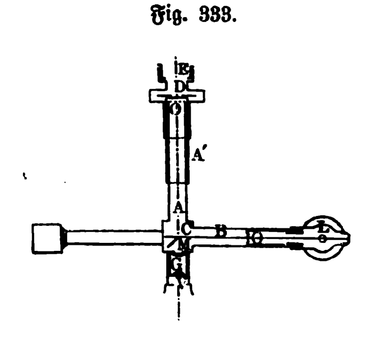


Fig. 333.



Photometer von Cornu vereinigt, bei welchem das Mikroskop durch Ocular G ersetzt ist. Der Lichtschein der Lampe trifft durch Linse O auf den, unter

[1]) Vgl. Fischer's Jahresber. 1890, 148. — [2]) Compt. rend. 114, 214 u. 391.

einem Winkel von 45° in C befestigten Spiegel M, während die andere Hälfte des Gesichtsfeldes durch das Bild des zu untersuchenden Lichtscheines ausgefüllt wird. Beide Lichtbilder werden gleich gemacht durch die stellbare Oeffnung in Platte D oder rothe Gläser E. Um aus der so gemessenen Lichtmenge die Temperatur berechnen zu können, legte Chatelier die Schmelzpunkte nach Violle (Gold = 1045, Palladium = 1500, Platin = 1775) zu Grunde. — Zu Messungen des Emissionsvermögens benutzte er kleine Kugeln oder kleine Cylinder von 5 mm Durchmesser, in welche längs eines Durchmessers ein Loch von 1 mm Durchmesser und 4 mm Tiefe gebohrt war; für rothe Strahlen bei ungefähr 1300° erhielt er:

Körper	Emissionsvermögen
Fe_3O_4	1
Pd	0,6
Pt, matt	0,4
Pt, polirt, weißer Thon	0,25
MgO	0,1

Für rothglühendes Eisen, welches an seiner Oberfläche stets oxydirt ist darf man somit das Emissionsvermögen als der Einheit gleich ansehen. Die Intensität der Strahlung ist deshalb unabhängig von der Temperatur der Umgebung und von dem Glanze der Oberfläche. Versuche mit Platin bei verschiedenen Temperaturen ergaben:

	Strahlung	Temperaturen
	0,00031	730°
	0,0011	800
	0,0032	855
	0,0043	880
	0,011	950
	0,073	1080
	0,205	1180
	0,210	1200
	0,480	1290
	0,60	1300
	1,40	1420
	1,90	1450
	2,80	1500
Schmelzendes Platin	15,80	1775

Verglichen mit neueren Versuchen von J. Violle:

	Violle	Le Chatelier	
Temp.	mit Platin	mit Eisenoxyd	mit Platin
800°	0,059	0,038	0,024
900	0,26	0,26	0,27
1000	1	1	1
1100	3,35	3,1	3,2
1300	25	21	23
1500	107	86	98
1700	264	290	340
1775	323	385	450

Nach einer Angabe[1]) der Physikalisch-technischen Reichsanstalt werden folgende Gleichtemperaturen angenommen:

Beginnende Rothglut	525
Dunkelrothglut	700
Kirschrothglut	850
Hellrothglut	950
Gelbglut	1100
Beginnende Weißglut	1300
Volle Weißglut	1500

Versuche über den Beginn des Glühens fester Körper von H. F. Weber[2]) ergaben, daß der Kohlenfaden einer 16kerzigen 100 Volt-Glühlampe von Siemens u. Halske, welcher bei normaler Helligkeit 0,55 Amp. Strom erfordert, in einem vollkommen dunklen Raume bereits sichtbar wurde, wenn die Stromstärke 0,051 Amp. und die Spannung 13,07 Volt betrug. Das Licht, welches den Faden aussendete, erschien düster nebelgrau. Bei Steigerung der Stromstärke nahm das Licht rasch an Helligkeit zu und ging erst bei erheblich größerer Stromstärke in Aschgrau und endlich in Gelblichgrau über. Erst bei 0,0602 Amp. und 17,98 Volt zeigte sich der erste Schimmer eines hell feuerrothen Lichtes. Bei weiterer Steigerung der Spannung glühte der Faden erst hellroth, dann orange, gelblichweiß, schließlich weiß. Durch Thermoelemente, welche in die zur Untersuchung dienenden dünnen Metallstreifen eingeschmolzen wurden, ermittelte er auch die Temperaturen, bei welchen die erste Lichtaussendung, die nebelgraue Glut, eintritt. Die dunkle Grauglut begann für das Auge des Beobachters für Platin bei ungefähr 390°, für Gold bei 417° und für nicht ganz oxydfreies Eisenblech schon bei 377°[3]).

Wärmemessung durch Bestimmung des Brechungsexponenten empfiehlt Berthelot[4]) in der Art, daß man die Dichte eines Gases bei der zu messenden Temperatur feststellt, woraus dann unter Anwendung der Gasgesetze leicht die fragliche Temperatur gefunden werden kann. Da jedoch der Ausdruck $\frac{n-1}{d} = const.$ für ein einzelnes Gas unabhängig von der Temperatur gilt, wo n den Brechungsexponenten und d die Dichte bedeuten, so kann man, nachdem ein- für allemal der Werth der Constanten bestimmt ist, mit Hülfe des experimentell bestimmten Brechungsexponenten die zugehörige Dichte und somit auch bei constantem Drucke die fragliche Temperatur ermitteln, in der sich das Gas befindet. Es wird weiterhin eine Anordnung beschrieben, um nach diesem Principe bequem die Temperaturmessungen ausführen zu können.

Elektrische Thermometer. Wärmemessung durch Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes (vgl. S. 47 u. 326) wurde neuerdings auch von Pionchon[5]) vorgeschlagen.

---

[1]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1894, 343. — [2]) Sitzber. d. Berl. Akad. 28, 491. — [3]) Vgl. Fischer's Jahresber. 1888, 24. — [4]) Compt. rend. 120, 831. — [5]) Fischer's Jahresber. 1886, 387.

Das **Platin-Widerstandsthermometer** ist nach **H. L. Callendar**[1]) noch bei 1000° bis 0,1° genau (?); er fand den Schmelzpunkt des Silbers bei 981,0°, den des Goldes bei 1037°.

Hartmann u. Braun (D. R.-P. Nr. 56633) empfehlen eine abweichende Art der Strommessung[2]). Fig. 334 zeigt die Anordnung schematisch, Fig. 335 dieselbe in der Ausführung. Als constanter Widerstand R in der **Wheatstone**'schen Brücke ist einer gewählt, welcher das Zwei- bis Dreifache des Widerstandes der Platinspirale bei 0° beträgt Von dem Meßdrahte wird nur das zweite Viertel und der Anfang des dritten Viertels benutzt und an der Stellung des Schiebercontactes auf diesem direct die Temperatur der Platinspirale abgelesen. Diese Anordnung gibt nach dem empirisch ermittelten Temperaturcoëfficienten der betreffenden Platinsorte die gleichmäßigste und längste Scala. Es wird gewöhnlich angegeben, daß die „Empfindlichkeit“

Fig. 334.

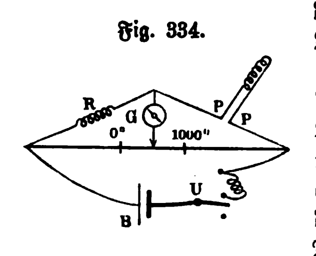
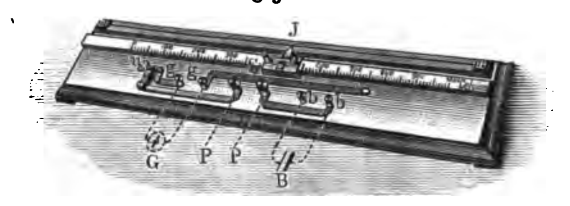


Fig. 335.



für Verschiebungen in der Mitte des Meßdrahtes am größten sei. Definirt man, wie es für diese Benutzung geboten ist, als Empfindlichkeit den Quotienten aus „Galvanometerausschlag und Verschiebung des Contactes“, so nimmt dieser Quotient zu, je mehr man sich dem Ende des Meßdrahtes nähert. Die auf dem Meßdrahte abgetragenen Abstände gleicher Temperaturdifferenz werden aber kleiner (Fig. 336, a. f. S.), wenn man dem Ende näher kommt. Beide in entgegengesetzte Richtung gehenden Einflüsse gleichen sich bei der gewählten Einrichtung, wenn auch nicht vollständig, so doch in der Weise aus, daß einer Verschiebung um 1° längs der ganzen Temperaturscala ein nicht allzu verschiedener Galvanometerausschlag entspricht. Der Schlüssel U kann drei Stellungen einnehmen; in der ersten ist der ganze Stromkreis unterbrochen; in der zweiten Lage ist in den Hauptstrom ein Widerstand eingeschaltet: man macht nun die ungefähre, für viele Zwecke schon ausreichend genaue Einstellung. Dreht man den Schlüssel auf den folgenden Knopf, so ist die Empfindlichkeit im Maximum; man stellt damit fein ein. Die Platinspirale befindet sich in einer feuerfesten, schmalen Buchse. Die Zuleitungen zur Widerstandsspirale innerhalb der Buchse sind so dick gewählt, daß durch ihre Erwärmung keine in Betracht kommenden Fehler entstehen können. Die äußere Zuleitung wird durch dicke Kupferkabel

[1]) Phil. Mag. 32, 104. — [2]) Fischer's Jahresber. 1891, 105; vgl. Elektrot. Zeitschr. 1888, 421.

hergestellt. Sollten diese außergewöhnlich lang werden oder sehr starken Temperaturschwankungen unterliegen, so sind, wenn große Genauigkeit verlangt

Fig. 336.



wird, noch Correctionen an der abgelesenen Temperatur anzubringen, welche von dem besonderen Fall abhängen.

Heycock und Neville [1]) empfehlen das von Griffiths und Callendar [2]) etwas abgeänderte Siemens'sche Pyrometer (S. 48). Die Anwendbarkeit des Pyrometers wird an einer großen Reihe von Versuchen erwiesen. Von den Bestimmungen über die Erstarrungspunkte einiger Metalle und Salze seien folgende angegeben:

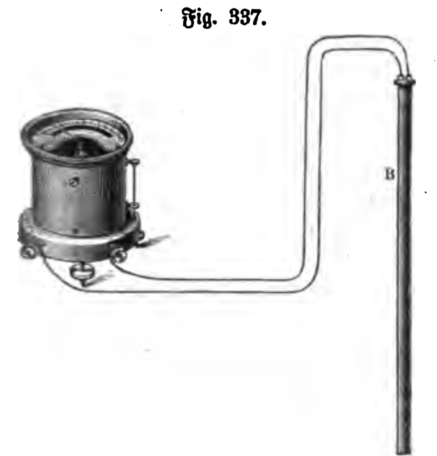
	Erstarrungspunkt		Erstarrungspunkt
Zinn	231,91°	Gold	1061,7°
Zink	418,96	Kupfer	1080,5
Magnesium . . .	632,6	Natriumcarbonat .	852,0
Aluminium . . .	654,5	Natriumsulfat . .	883,2
Antimon	629,54	Kaliumsulfat . . .	1066,5
Silber	960,7		

Nach Holborn und Wien [3]) ist das Widerstandspyrometer für sehr hohe Temperaturen nicht mehr zuverlässig, weil man kein Material besitzt, welches dann noch genügende Isolirfähigkeit beibehält. Ein weiterer Uebelstand besteht

[1]) Journ. chem. Soc. 67, 160. — [2]) Phil. Trans. Amer. 1891, 119. — [3]) Wiedemann's Ann. 1892, 47.

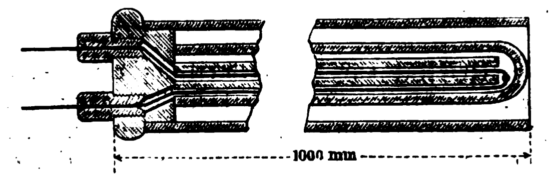
darin, daß die Widerstandsrolle eine verhältnißmäßig bedeutende Ausdehnung besitzt und deshalb nur zur Messung der mittleren Temperatur größerer Räume benutzbar ist, während oft das Bedürfniß vorhanden ist, die Temperatur eines eng begrenzten Raumes kennen zu lernen. Das Thermoelement ist von allen diesen Mängeln frei. Es stellt geringe Anforderungen an die Isolirung, weil die vorkommende elektrische Spannung sehr gering ist.

Fig. 337.



Auf Grund ihrer Versuche haben nun W. C. Heräus und Kaiser u. Schmidt ein Chatelier'sches (S. 617) Pyrometer hergestellt. Die Physikalisch-technische Reichsanstalt hat die Vergleichung aller für die Elemente zur Verwendung kommenden Drähte mit den an das Luftthermometer angeschlossenen Thermoelementen übernommen. Sie bestehen aus einem etwa 1,5 m langen, 0,6 mm starken Platindrahte gegen einen gleich langen und gleich starken Draht einer 10 proc. Platin-Rhodiumlegirung. Die

Fig. 338.



Verbindung der beiden Drähte (die heiße Löthstelle) wird unter Ausschluß fremder Metalle durch directes Zusammenschmelzen hergestellt. Es genügt auch, wenn die beiden Drahtenden auf mechanischem Wege fest mit einander verbunden werden. Das nach d'Arsonval hergestellte Galvanometer (Fig. 337 u. 338) gestattet Messungen von 500 bis 1500°. Für noch höhere Temperaturen (Wassergasöfen u. s. w.) können auch Instrumente hergestellt werden, bei denen die Scala noch bis 1600° geht. Doch müssen dann für das Thermoelement besondere Schutzvorrichtungen aus schwer schmelzbarem Material bestellt werden. Das Galvanometer ist derart eingerichtet, daß ein Zeiger auf zwei Scalen spielt, von denen die eine die elektromotorische Kraft in Volt anzeigt, damit die Angaben des Instrumentes stets controlirt werden können, während auf der zweiten Scala direct die Temperaturgrade abgelesen werden. Der Preis des Pyrometers beträgt 300 Mk. Die zum Isoliren der Elementdrähte und zum Schutze derselben gegen Feuergase dienenden Porcellan- und Metallrohre *B* werden auf Wunsch zum Selbstkostenpreise mitgeliefert. Auch kann das Instrument für besonders construirte Oefen leicht passend abgeändert werden.

Es sei schließlich noch auf folgende **Vorsichtsmaßregeln** beim Gebrauche des Instrumentes aufmerksam gemacht:

1. Der äußere Widerstand der Zuleitungsdrähte des Thermoelementes zum Galvanometer darf nicht ein Ohm wesentlich übersteigen, doch kann bei Bestellung des Instrumentes eine Leitung von beliebiger Länge angegeben werden, die dann bei der Aichung des Instrumentes berücksichtigt wird.
2. Die Verbindungsstellen des Platins und Platinrhodiums mit der Zuleitung zum Galvanometer dürfen nicht erheblich wärmer als Zimmertemperatur werden und es sind die Längenverhältnisse des Elementes so zu wählen, daß die Löthstellen dann selbst kühl bleiben, wenn nicht ihre besondere Kühlung vorgezogen wird.
3. Die Drähte des Elementes, die durch eine Porcellancapillare von einander isolirt werden, müssen vor den Heizgasen und namentlich vor Kohle durch außen glasirte Porcellanröhren geschützt werden. Diese Röhren werden auf Wunsch dem Instrumente beigegeben.
4. Das Galvanometer bedarf einer festen Aufstellung (Wandconsole). Für diejenigen, welche bereits über elektrische Meßeinrichtungen verfügen, können die Elemente ohne Galvanometer geliefert werden. Jedem Elemente wird eine Tabelle mitgegeben, welche die Vergleichung der thermoelektrischen Kraft mit der absoluten Temperaturscala angibt.
5. Bei der Aufstellung des Pyrometers ist auf ein recht langsames Herausschrauben der Arretirungsschraube zu achten, da sonst der Aufhängefaden des Rähmchens zerreißen könnte, resp. in der Structur Veränderungen erleiden und zu Ungenauigkeiten Veranlassung geben könnte.
6. Unbedingt nothwendig ist es, daß bei der Aufstellung das Loth genau im Kreuzungspunkte der fixirten Linien des unteren Ringes hängt.
7. Der Kurbelgriff oben an der Dose dient zur Einstellung des Zeigers auf den Nullpunkt der Scala.

Thermoelektricität zur Wärmemessung verwendet H. **le Chatelier**[1]). Die thermoelektrische Kuppelung besteht aus einem 0,55 mm starken Platindrahte, welcher mit einem 10 Proc. Rhodium enthaltenden Draht zusammengedreht wird, also nicht gelöthet ist. Als Stütze wurde eine eiserne Röhre von 13 mm innerem Durchmesser genommen, worin die Drähte durch zweimal durchlochte Cylinder von feuerfestem Thone gehalten werden. Ein hölzerner Stiel ist mittelst zweier Zwingen an der Röhre angebracht, wie ein Bayonett am Gewehrlauf (Fig. 342). Da das Ablesen nur fünf Secunden erfordert, so kann man sein Temperaturmaß verzeichnen, ehe die Röhre Zeit gehabt hat, sich zu verändern. Die einzig nothwendige Vorsicht ist die, daß man die Drähte und die Löthstelle wenigstens 5 cm aus der eisernen Röhre hervorragen läßt, damit keine Abkühlung durch Leitung oder Strahlung eintrete. **Le Chatelier** hat das von ihm und **Charpentier** etwas abgeänderte Reflexionsgalvanometer von **Déprez** und **d'Arsonval** gewählt. Dasselbe (Fig. 341) besteht aus einem starken, hufeisenförmigen Magneten AB, der senkrecht gestellt ist. Zwischen den Polen des Magneten befindet sich ein Multiplicator C, der aus einem sehr feinen Drahte zu einem rechteckigen Rahmen gebogen ist und sich

---

[1]) Compt. rend. 114, 470; Fischer's Jahresber. 1891, 106; Berg- und hüttenmänn. Ztg. 1892, 277.

frei um den Eisenkern *E* bewegt. Der Rahmen wird am oberen und unteren Ende durch zwei sehr feine Neusilber (Maillechort-) drähte gehalten. Diese dienen dazu, den Rahmen zu halten und ihm den Strom zuzuführen, andererseits bewirken sie eine Ausgleichung der Torsion. Da die durch den Strom hervorgebrachten Abweichungen zu schwach sind, um direct beobachtet zu werden, so wird die elektromotorische Kraft, welche durch Erhitzung des Thermoelementes auf die zu bestimmenden Wärmegrade erzeugt wird, durch den Weg gemessen, den ein vom Spiegel *m* zurückgeworfener Lichtstreifen auf einer in Millimeter getheilten Scala zurückgelegt. Der Draht des Multiplicators besteht entweder aus Kupfer oder Neusilber; ersteres gewährt einen geringeren Widerstand und gibt, unter gleichen Bedingungen, einen intensiveren Strom und eine größere

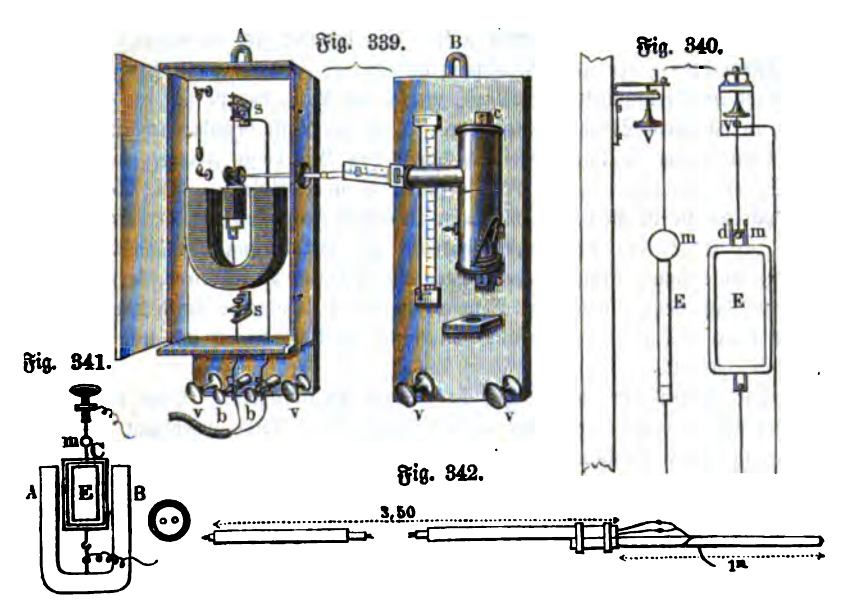


Fig. 339. Fig. 340. Fig. 341. Fig. 342.

Abweichung, aber seine Widerstandskraft schwankt mit der Temperatur 10 mal mehr, als die des Neusilbers. Der Kupferdrahtrahmen ist also empfindlicher, erfordert aber Correcturen, wenn man damit nicht immer unter völlig gleichen Bedingungen experimentirt. Man thut am besten, beide anzuwenden, den ersteren für sehr genaue Messungen weniger hoher Temperaturen (unter 600°), den zweiten für die anderen Fälle.

Der Apparat gibt einen Strom von $^1/_{10\,000\,000}$ Ampère an. Er ist ein aperiodisches Galvanometer, d. h. das Gleichgewicht des Rahmens wird sehr schnell hergestellt und das Bild zeigt absolute Beständigkeit auf der Scala. Außerdem giebt er die Abweichungen im Verhältniß zur Intensität des Stromes annähernd bis auf $^1/_{100}$.

In der für die Industrie bestimmten Gestalt ist das Pyrometer von Le Chatelier (Fig. 339) in zwei Holzschränkchen mit einer Unterlage ent-

halten. Die beiden Schränkchen werden an einer Mauer angebracht und können mittelst der beiden Schrauben *v* lothrechte Richtung erhalten. Der Schrank *A* enthält das Galvanometer. Der Magnet, das Stückchen weichen Eisens und die Stützen für die Drähte sind im Hintergrunde des Schrankes neben einer kleinen Wasserwage festgemacht, welche die verticale Richtung des Rahmens sichert. Die Schrauben *b* außerhalb des Schrankes, der immer geschlossen bleiben muß, sind mit den Stützen *ss* durch Platindrähte verbunden und stellen die Verbindung zwischen dem Conductor und dem Galvanometer her. Ein Fensterchen an einer Seite des Schrankes gewährt den einfallenden und reflectirten Strahlen Eingang. Das zweite Schränkchen *B*, dessen Thür während der Beobachtung fortgenommen wird, enthält die Lichtquelle und die Scala. Die Lichtquelle ist eine Lampe mit Benzin oder Naphtha, die eine Flamme von großer Beständigkeit gibt. Sie befindet sich in einem Cylinder von Eisenblech *cc*, der einen Rauchfang hat und die Flamme vor Luftzug schützt, und steht im Brennpunkte einer Linse, welche das Licht, das sie auf den Spiegel lenkt, in parallele Strahlen umwandelt. Vor der Linse befindet sich ein Lichtschirm mit einem Fenster und einem Netze; das Bild dieses Fensters wird auf die Scala reflectirt und das Netz gestattet genaues Ablesen. Die Scala ist transparent; sie ist an dem Lichtschirme in einem Falze befestigt, der ein wenig schief zur Ebene des Apparates, senkrecht zur Halbleitung des Winkels der größten Abweichung steht, um den Fehler auf die Hälfte zu reduciren, der dadurch entsteht, daß beim Messen der Schwankungen die Tangente durch den Bogen ersetzt wird. Dieser Fehler kann unbeachtet bleiben, da es sich um Winkel unter 5^0 handelt.

Die Neusilberdrähte endigen in kleinen Platinkugeln. Eine derselben befindet sich in einer Kerbe, die in der Stütze (Fig. 340) angebracht ist; die andere in einem Einschnitte oberhalb des Rahmens *E*. Der Spiegel ist in Folge dessen nicht in der Mitte der Aufhängungsachse. Man hilft diesem Fehler ab, indem man den Spiegel *m* durch eine ebenso schwere Metallscheibe *d* ins Gleichgewicht bringt, um den Schwerpunkt des Rahmens in die Aufhängungsachse zu bringen; der untere Draht ist auf dieselbe Weise befestigt. Die Träger bestehen aus Kupferblättchen *l*, die nachgiebig und so gebogen sind, daß sie eine Feder bilden, und die man mittelst einer Schraube *V* heben oder senken kann. So kann man die Drähte spannen, nachdem man die Kugeln in ihre Einschnitte hineingefügt hat. Die Verwendung der Drähte mit zwei Kugeln macht das Pyrometer transportirbar; es genügt, wenn man den Rahmen und die Aufhängungsdrähte herausnimmt, um jeden Unfall beim Transport zu verhüten, da die anderen Theile sehr fest sind; ein Zerreißen des Drahtes kann übrigens sofort reparirt werden, wenn man für Reservedrähte Sorge trägt.

Um eine Beobachtung anzustellen, muß man zuerst den Rahmen und den Aufhängungsdraht in senkrechte Richtung bringen; man erreicht das leicht mit Hülfe der Schrauben, indem man auf die Wasserwage achtet. Dann sucht man das Strahlenbündel auf den Spiegel zu lenken und hebt oder senkt den Schrank mit der Lampe, bis das Bild auf die Scala fällt. Anfangs kommt es oft vor, daß man das Bild nicht finden kann, entweder weil die Lampe

schlecht steht, oder weil der reflectirte Strahl neben der Scala vorbeigeht. Man muß sich dann ins Dunkle stellen, eine Vorsicht, die in der Folge unnöthig wird. Man muß auch Sorge tragen, den Strom zu schließen, sei es, indem man die Drähte der Kuppelung oder ihres Leiters an den trennenden Stiften des Galvanometers befestigt, sei es, indem man das Galvanometer in kurzen Stromlauf setzt. Wenn man diese Vorsichtsmaßregel nicht trifft, so nimmt der Rahmen Schwankungen an, die sich nur sehr langsam beruhigen; bei geschlossenem Strome ist das Gleichgewicht sofort hergestellt und das Bild gewinnt große Stetigkeit. Die Unbeweglichkeit des Bildes ist die sichere Gewähr dafür, daß kein Drahtbruch eingetreten. Wenn das Bild so unbeweglich ist und auf die Scala fällt, muß man es auf Null bringen. Dafür gibt es verschiedene Mittel. Für eine große Abweichung dreht man einen der Drähte herum, indem man die kleine Kugel am Ende mit einer Pincette oder mit der Hand in Rotation versetzt. Bei schwacher Abweichung dreht man das Schränkchen des Galvanometers etwas mit Hülfe der Schrauben. Wenn es sich nur um einige Millimeter handelt, so genügt ein Verrücken der Scala in ihrem Falz. Dann ist der Apparat fertig für die Messungen.

Nach Untersuchungen von Le Chatelier haben sich bei häufigeren praktischen Arbeiten folgende Temperaturen herausgestellt:

Bessemer Converter (6 t Inhalt).

	Centigrade
Beim Abstich der Schlacke	1580
„ „ des Stahles in die Pfanne	1640
„ „ „ „ „ „ Formen	1580
Wärmofen	1200
Block unter dem Hammer	1080

Siemens-Martin-Flammofen.

Gase:	
beim Austritt aus dem Generator	720
„ Eintritt in die Wärmespeicher	400
„ Austritt aus den Wärmespeichern	1200
der Luft beim Austritt aus den Wärmespeichern	1000
der Verbrennungsproducte nahe dem Kamin	300
Metall (etwa 0,3 Proc. C):	
Gußeisen bei Schluß des Einschmelzens	1420
beim Feinen des Stahles	1500
beim Abstich des Stahles in die Pfanne, zu Anfang	1580
beim Abstich des Stahles in die Pfanne, „ Ende	1490
beim Vergießen des Stahles in die Formen	1520

Regenerativofen für Tiegelstahl.

In den Räumen zwischen den Tiegeln	1600

Hochofen, auf graues Roheisen.

Oeffnung gegenüber den Düsen	1930
Beim Abstich des Roheisens, zu Anfang	1400
Beim Abstich des Roheisens, „ Ende	1570

Siemensofen für Glasschmelzen.

Ofen	1400
Geschmolzenes Glas	1310
Abkühlen der Flaschen	585
Ofen für Hartporcellan, Schluß des Härtens	1370
Hoffmann-Ofen zum Ziegelbrennen	1100

Calorimeter vom Verf. Um die schon S. 61 beschriebene Vorrichtung zum Erhitzen der durchbohrten Cylinder aus Platin oder reinem Nickel sowohl

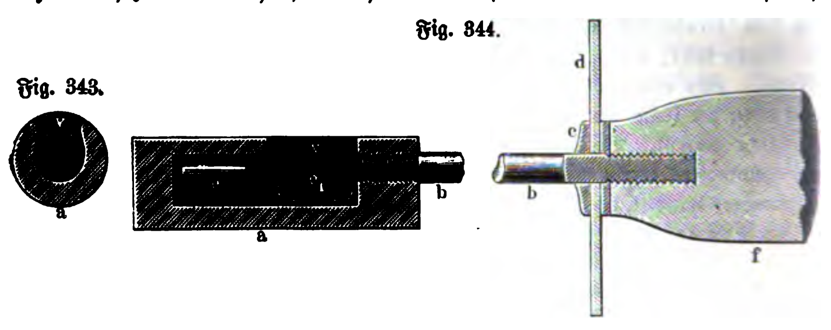


Fig. 343. Fig. 344.

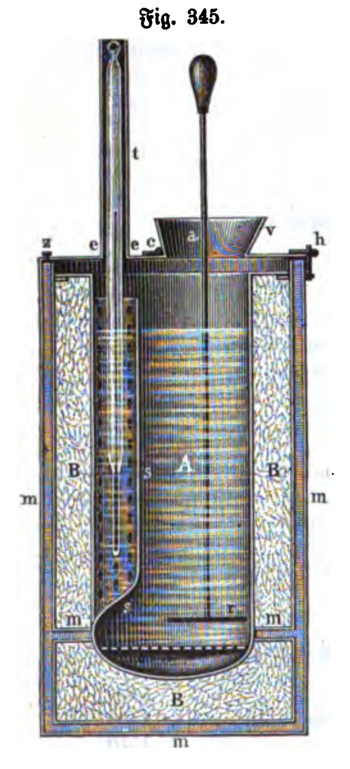
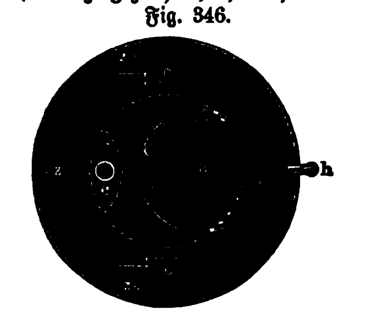


Fig. 345.

für lothrechte wie senkrechte Feuercanäle verwenden zu können und den glühenden Cylinder rasch und sicher in das Wassergefäß zu bringen, verwendet Verf. jetzt einen mit entsprechendem Ausschnitt *v* versehenen schmiedeisernen Behälter *a* (Fig. 343 und 344), an dessen etwa 0,5 m langen Stiel *b* ein Holzgriff *f* geschraubt wird, womit gleichzeitig die Asbestscheibe *d* gegen den Metallring *c* festgehalten wird. Diese Asbestpappe schützt die Hand vor zu arger Hitze und erleichtert die ganze Handhabung der Vorrichtung. Die scharfen Kanten des Metallcylinders *e* sind etwas abgerundet, um das Einwerfen in das Wassergefäß zu erleichtern. Das Calorimetergefäß *B* (Fig. 345) wird jetzt aus starkem Messingblech hergestellt und innen mit Asbestpappe ausgekleidet. Oben ist dasselbe so geformt, daß der starke Rand des aus dünnem, versilbertem Kupferblech hergestellten Gefäßes *A* sicher aufliegt; an der Berührungsstelle beider wird passend ein dünner Asbest- oder Gummiring gelegt, die Fuge wird durch Lack wasserdicht geschlossen. Ein Asbestring *m* hält den

unteren Theil des Gefäßes *A* fest. Der Siebboden *n* verhütet, daß der eingeworfene Metallcylinder auf den gewölbten Boden des Gefäßes fällt und dadurch zu Wärmeverlusten Veranlassung gibt. Eine mit zahlreichen Oeffnungen versehene Blechhülse *s* sichert den unteren Theil des Thermometers (verkürzt gezeichnet) *t*, während der obere Theil desselben durch eine geschlitzte Messinghülse *e* geschützt wird. Der Theil des Deckels (Fig. 346), welcher das Thermometer trägt, ist durch Schrauben *z* befestigt, der durch Gelenke *c* damit verbundene andere Theil kann durch einen Haken *h* gehalten werden. Die Einwurfsöffnung *a* ist mit einem dem Thermometer gegenüber ausgeschnittenen Trichterrande *v* versehen, welcher zur Vermeidung der Berührung durch den glühenden Cylinder mit Asbestpapier ausgekleidet werden kann. Der Raum zwischen beiden Gefäßen *A* und *B* wird mit leichten Federn (Daunen) gefüllt.

Fig. 346.



Bei der Verwendung dieser Vorrichtung legt man den Cylinder *e* durch die Oeffnung *v* in den Halter *a* (Fig. 344) ein, setzt diesen Theil der zu messenden Temperatur aus, faßt dann mit der linken Hand den Elfenbeinknopf des Rührers *r* (Fig. 345), mit der rechten den Griff *f* (Fig. 344), bringt rasch durch leichten Ruck den Cylinder *e* in die Lage e_1, und läßt ihn durch halbe Drehung der rechten Hand in das Wassergefäß *A* fallen, bewegt den Rührer auf und ab und liest ab, sobald das Thermometer die höchste Temperatur zeigt. Bei Verwendung eines 20 g schweren Platincylinders verwendet man ein kleineres Calorimetergefäß und so viel Wasser, daß der Gesammtwasserwerth 125 g Wasser entspricht. Für Eisencylinder nimmt man passend ein größeres Gefäß von 250 g Wasserwerth. Die Temperatur wird in einfacher Weise nach S. 64 berechnet, oder das Thermometer so getheilt, daß dasselbe unmittelbar die zu messende Temperatur angibt[1]).

Beachtenswerth sind die Versuche von Pionchon[2]) über die specifische Wärme von Eisen und Nickel. Danach sind Nickelcylinder vorzuziehen.

Für pyrometrische Messungen empfehlen Ch. Lauth und G. Vogt[3]) das Pyrometer von Boulier (S. 328); durch Vergleiche mit Goldplatinlegirungen ergab sich aber, daß der Werth eines Grades des Wasserpyrometers mit steigender Temperatur rasch abnimmt, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

---

[1]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1890, 589. — [2]) Fischer's Jahresber. 1891, 108. — [3]) Bull. soc. chim. 46, 785.

	t Schmelzpunkt	ϑ Beobachteter Pyrometergrad	t : ϑ Absoluter Werth des Pyrometergrades
Zinn	230	0,3°	430
Blei	334	0,8	400
Zink	423	2,0	204
Silber	954	6,4	147
Gold	1075	7,07	149
Garbrandhitze des Neuporcellans	1350	13,8	96,5
Garbrandhitze des Hartporcellans	1500	18,4	80,5

Lichtmessung.

Normalkerzen (vgl. S. 69 u. 332) werden nur noch wenig angewendet. Auf die Mittheilungen von Voit[1]), Schiele[2]), Methven[3]) sei verwiesen.

Setzt man nach Bericht der Kerzencommission[4])

a) die Amylacetatflamme von 40 mm Höhe = 1,

so gibt

b) die deutsche Vereins-Paraffinkerzenflamme von 50 mm Höhe = 1,224 A. A. L.,
c) die englische Walrathkerzenflamme L von 45 mm Höhe = 1,135 A. A. L.
d) dieselbe Walrathkerzenflamme K von 45 mm Höhe = 1,140 A. A. L.,

oder umgekehrt: Es hat

a) 1 Amylacetatflamme von 40 mm Höhe die Leuchtkraft von:
b) 0,808 deutsche Vereins-Paraffinkerzenflamme mit 50 mm Höhe,
c) 0,883 englische Walrathkerzenflamme L mit 45 mm Höhe, und
d) 0,879 „ „ K „ 45 mm „

Nach Lummer und Brodhun[5]) ist

	Amylacetatlampen
1 deutsche Vereins-Paraffinkerze gleich	1,224
1 lange englische Paraffinkerze gleich	1,145
1 kurze „ „ „	1,148
1 ungetrennt geprüfte englische Paraffinkerze gleich	1,160
1 durchschnittliche „ „ „	1,151

ferner eine Amylacetatflamme gleich

0,808 deutsche Vereins-Paraffinkerzenflamme,
0,879 lange englische Walrathkerzenflamme,
0,875 kurze „ „
0,862 ungetrennt geprüfte englische Walrathkerzenflamme,
0,870 englische Durchschnitts-Walrathkerzenflamme.

---

1) Fischer's Jahresber. 1887, 35. — 2) Ebend. 1889, 69. — 3) Ebend. 1890, 152. — 4) Journ. f. Gasbel. 1889, 757. — 5) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1890, 119; Fischer's Jahresber. 1890, 148.

Neue englische Normalkerze [1].

Das **Hefnerlicht** (S. 336) wird jetzt in Deutschland allgemein als Lichteinheit verwendet [2].

Beglaubigung der Hefnerlampe. Ergibt die Prüfung, daß 1) die Wandstärke des Dochtrohres um nicht mehr als 0,02 mm im Mehr oder 0,01 mm im Minder, seine Länge um nicht mehr als 0,5 mm im Mehr oder Minder, sein innerer Durchmesser um nicht mehr als 0,1 mm im Mehr oder Minder von dem Sollwerth abweicht, ferner bei aufgesetzter Lehre der Abstand von dem oberen Dochtrohrrande bis zur Schneide der Lehre um nicht mehr als 0,1 mm von seinem Sollwerth abweicht; 2) die Lichtstärke von ihrem Sollwerth um nicht mehr als 0,02 desselben abweichend gefunden ist, so findet die Beglaubigung statt. — Das Verhältniß der bisherigen Normalkerzen zum Hefnerlicht ist:

$$\frac{\text{Lichtstärke der Deutschen Vereins-Paraffinkerze (Flammenhöhe 45 mm)}}{\text{Hefnerlicht}} = 1,2.$$

$$\frac{\text{Lichtstärke der englischen Normalkerze (Fammenhöhe 45 mm)}}{\text{Hefnerlicht}} = 1,14.$$

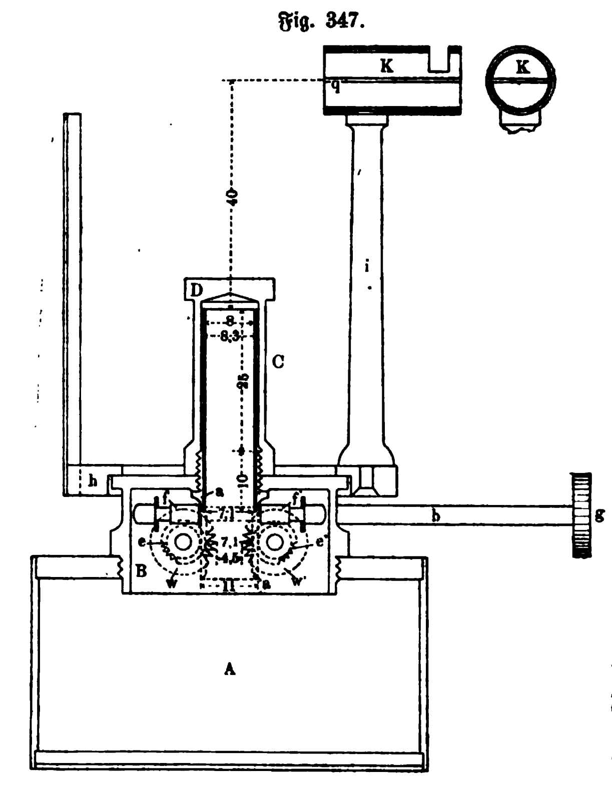
Eine Hefnerlampe mit Visir nach von **Hefner-Alteneck** ist in Fig. 347 (a. f. S.) im Längsschnitt, in Fig. 348 (S. 625) im Grundriß in $^3/_4$ n. Gr. gezeichnet. Die eigentliche Lampe besteht aus dem Gefäße A, dem die Dochtführung enthaltenden Kopfe B und dem Dochtröhrchen C. Das Gefäß A dient zur Aufnahme des Amylacetats; es ist aus Messing oder Rothguß hergestellt und im Innern verzinnt. Der Kopf B trägt in seinem Inneren erstens das dochtführende Rohrstück a (Fig. 347 und 348), welches an seinem unteren Theile zwei einander gegenüberliegende rechtwinklige Ausschnitte enthält, und zweitens das Triebwerk. Das letztere besteht aus zwei Achsen d und d', über welche zwei gezähnte, in die genannten rechtwinkligen Ausschnitte eingreifende Walzen w und w' geschoben sind. Seitlich von den Walzen und mit diesen fest verbunden sitzen die Zahnräder e und e'; diese können durch die beiden in sie eingreifenden, auf ein und derselben Achse b sitzenden Schrauben ohne Ende f und f in einander entgegengesetzter Richtung gedreht werden. Die Achse b endet in dem Knopfe g, mit dessen Hülfe das Triebwerk durch die Hand in Bewegung gesetzt wird. Um eine Verschiebung der Achse b in ihrer Längsrichtung zu verhindern, dient zunächst die in Fig. 348 besonders gezeichnete Feder l und außerdem eine auf der Achse b mitten zwischen den Schrauben f und f' befindliche ringförmige Verstärkung, welche in einer innen an der Decke des Kopfes B sitzenden Metallgabel m läuft. Das dochtführende Rohrstück a ragt über die obere Platte des Kopfes B um etwa 4 mm heraus und trägt an diesem herausragenden Ende außen ein Gewinde, mit welchem eine das Dochtrohr schützende Hülse D (Fig. 347) aufgeschraubt werden kann. Dicht neben dem Rohrstücke a befinden sich in der oberen Platte des Kopfes B zwei einander gegenüberliegende verticale Oeffnungen von etwa 1 mm Durchmesser, welche zur Zuführung der

---

[1] Fischer's Jahresber. 1894, 107. — [2] Vgl. ebend. 1887, 36.

Luft an Stelle des verbrauchten Brennstoffs dienen. Dieselben liegen so, daß sie bei aufgeschraubter Hülse *D* von letzterer verdeckt werden. — Das Dochtrohr ist aus Neusilber ohne Löthnaht hergestellt; seine Länge soll 35 mm, sein innerer Durchmesser 8 mm, seine Wandstärke 0,15 mm betragen. Es wird von oben in das Rohrstück *a* bis an einen an dem letzteren befindlichen vorstehenden Ansatz eingeschoben. Das Dochtrohr muß sich in seiner Hülse mit leichter Reibung bewegen lassen, so daß es leicht entfernt werden kann, ohne sich jedoch bei der Bewegung des Dochtes mit diesem hochzuschieben. Der Flammenmesser, welcher zur Feststellung der richtigen Flammenhöhe (40 mm) dient, ist auf einem abnehmbaren, drehbaren und an jeder Stelle festklemmbaren Ringe *h* befestigt, welcher auf die obere Platte des Kopfes *B* aufgesetzt wird. Die Einrichtung der Klemmvorrichtung ist aus der Figur ersichtlich. Der Träger *i*, welcher den Ring mit der eigentlichen Meßvorrichtung verbindet, soll so fest sein, daß er ohne mechanische Hülfsmittel nur schwer verbogen werden kann. Als Meßvorrichtung dient entweder ein Visir nach von Hefner-Alteneck oder eine optische Vorrichtung nach Krüß (S. 343). Es können einer Lampe beide Flammenmesser beigegeben werden, jedoch dürfen dann nicht beide auf demselben Ringe befestigt sein. Das Visir *K* besteht aus zwei in einander geschobenen Rohrstücken mit horizontaler, durch die Achse des Dochtröhrchens hindurchgehender Achse. Das innere Rohrstück ist der Länge nach durchschnitten und trägt ein horizontal liegendes blankes Stahlblättchen *q* von 0,2 mm Dicke mit einem rechtwinkeligen Ausschnitt. Die untere Ebene des Stahlblättchens soll 40 mm über dem oberen Rande des Dochtrohres liegen. Die optische Vorrichtung besteht aus einem etwa 30 mm langen Rohrstück, dessen Achse ebenfalls horizontal liegt und durch die Achse des Dochtrohres hin-

Fig. 347.



durchgeht. Das Rohrstück ist auf der dem Dochtrohr zugewandten Seite durch ein kleines Objectiv von etwa 15 mm Brennweite geschlossen, auf der entgegengesetzten Seite durch eine matte Scheibe, welche von feinem Korn sein und dem Objectiv ihre matte Seite zuwenden soll. Die letztere trägt in ihrer Mitte eine horizontale schwarze Marke von nicht mehr als 0,2 mm Dicke. Das durch das Objectiv entworfene Bild der oberen Kante dieser Marke soll genau 40 mm über der Mitte des oberen Dochtrohrrandes liegen. Kein Theil des Flammenmessers darf abschraubbar oder drehbar sein. Soweit dabei Befestigungsschrauben zur Verwendung kommen, sollen ihre Köpfe um die Schnitttiefe abgefeilt sein. Die Lehre dient zur Controle der richtigen Stellung des oberen Randes des Dochtrohres, sowie derjenigen des Flammenmessers. Wenn sie über das Dochtrohr geschoben ist, so daß sie auf der Decke des Kopfes *B* fest aufsteht, so soll beim Hindurchblicken durch den in etwa halber Höhe der Lehre

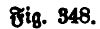
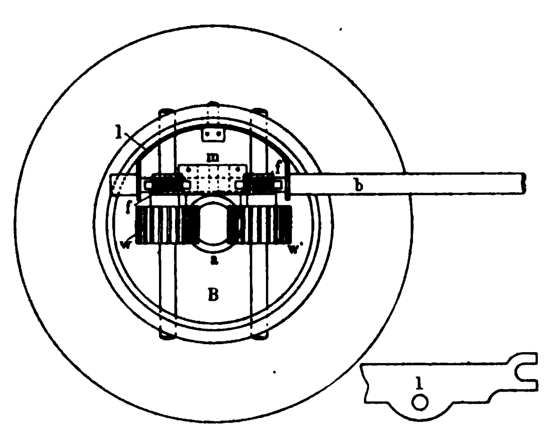


Fig. 348.



befindlichen Schlitz zwischen dem oberen Rande des Dochtrohres und der horizontalen Decke des inneren Hohlraumes der Lehre eine feine, weniger als 0,1 mm breite Lichtlinie sichtbar sein, außerdem muß die Schneide oben an der Lehre bei Benutzung des Visirs in der Ebene der unteren Fläche des Stahlblättchens liegen. Bei Benutzung des optischen Flammenmessers muß die Schneide der Lehre in der oberen Kante der Marke des Flammenmessers abgebildet werden. Der Abstand zwischen dem oberen Dochtrohrrande und der Schneide der Lehre muß somit genau 40 mm betragen. Der obere Theil der Lehre hat einen Durchmesser von etwas weniger als 8 mm. Er muß sich leicht in das Dochtrohr hineinschieben lassen und dient zur Herausnahme des letzteren, falls dessen Reinigung nöthig ist. Die Lehre ist aus Messing, und zwar aus einem Stücke herzustellen. Sämmtliche Metalltheile der Lampe außer dem Dochtrohr und dem Stahlblättchen des Visirs sind mattschwarz zu beizen.

Gebrauchsanweisung. Der Docht. Die Beschaffenheit des Dochtes ist im Allgemeinen auf die Lichtstärke nicht von Einfluß. Es ist nur darauf zu achten,

daß er das Dochtrohr einerseits völlig ausfüllt, andererseits nicht zu fest in dasselbe eingepreßt ist. Man benutzt daher am einfachsten eine genügende Anzahl zusammengelegter dicker Baumwollfäden. Da derartige lose Dochte aber von nicht sorgfältig gearbeiteten Triebwerken bisweilen mangelhaft verschoben werden, außerdem im Inneren des Gefäßes leicht Schlingen bilden und sich dann in den Zahnrädern und Walzen des Triebwerkes festsetzen, so sind häufig umsponnene Dochte in Gebrauch genommen worden. Gegen die Benutzung derselben ist nichts einzuwenden, so lange sie die oben angegebene Bedingung einhalten, das Dochtrohr voll auszufüllen, ohne darin allzu sehr eingepreßt zu sein.

Das Amylacetat. Bei der Beschaffung des Amylacetats für die Hefnerlampe muß mit Vorsicht zu Werke gegangen werden, da das im Handel befindliche Material häufig Beimischungen enthält, welche es für photometrische Zwecke unbrauchbar machen. Es ist daher nothwendig, das Amylacetat aus einer zuverlässigen Handlung zu beziehen und bei dem Ankauf anzugeben, daß es für photometrische Zwecke benutzt werden soll.

Um den Bezug brauchbaren Amylacetats zu erleichtern, hat es der „Deutsche Verein von Gas- und Wasserfachmännern" übernommen, geeignetes Amylacetat in genügender Menge zu beschaffen, es auf seine Brauchbarkeit zu untersuchen und durch seine Geschäftsstelle in Karlsruhe in plombirten Flaschen (von 1 Liter Inhalt an) abzugeben.

Will man von dieser Gelegenheit, geprüftes Amylacetat zu beziehen, keinen Gebrauch machen, so ist anzurathen, den anderweitig bezogenen Brennstoff zunächst auf seine Brauchbarkeit zu untersuchen. Am besten bedient man sich dazu der folgenden, größtentheils von Herrn Dr. Bannow angegebenen Proben. Amylacetat ist danach für Lichtmessungen verwendbar, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. Das specifische Gewicht muß 0,872 bis 0,876 bei 15° betragen.
2. Bei der Destillation (in Glaskolben) müssen zwischen 137 und 143° wenigstens $^{9}/_{10}$ der Menge des Amylacetats übergehen.
3. Das Amylacetat darf blaues Lackmuspapier nicht stark roth färben.
4. Wird zu dem Amylacetat ein gleiches Volumen Benzin oder Schwefelkohlenstoff gegeben, so sollen sich beide Stoffe ohne Trübung mischen.
5. Schüttelt man in einem graduirten Cylinder 1 ccm Amylacetat mit 10 ccm Alkohol von 90 Proc. (Tralles) und 10 ccm Wasser, so soll eine klare Lösung erfolgen.
6. Ein Tropfen Amylacetat soll auf weißem Filtrirpapier verdunsten, ohne einen bleibenden Fettfleck zu hinterlassen.

Das Amylacetat ist gut verkorkt am besten im Dunkeln aufzubewahren.

Behandlung der Lampe. Vor der Messung. Nachdem die Lampe mit Amylacetat gefüllt und der Docht eingezogen ist, wartet man, bis der letztere vollständig durchfeuchtet ist. Man überzeugt sich, daß das Triebwerk den Docht gut auf und nieder bewegt, ohne das Dochtrohr mit zu verschieben. Sodann wird der Docht ein wenig aus dem Rohre herausgeschraubt und das den Rand des Dochtrohres überragende Stück mit einer scharfen Scheere möglichst glatt abgeschnitten. Hierauf untersucht man mit Hülfe der beigegebenen Lehre die richtige Stellung des oberen Dochtrohrrandes, sowie des Flammenmessers, wobei die folgenden Bedingungen erfüllt sein müssen:

Wenn man die Lehre über das Dochtrohr geschoben hat, so daß sie auf dem das Triebwerk tragenden Kopfe fest aufsteht, und wenn man dann durch den in ungefähr halber Höhe befindlichen Schlitz gegen einen gleichmäßig hellen Hintergrund (Himmel, beleuchtetes weißes Papier) hindurchsieht, so soll zwischen dem oberen Rande des Dochtrohres und der Decke des inneren Hohlraumes der Lehre eine feine, weniger als 0,1 mm breite Lichtlinie sichtbar sein. Die Schneide der Lehre muß bei Benutzung des Visirs in der Ebene der unteren Fläche des Stahlblättchens liegen; bei Benutzung des optischen Flammenmessers muß die Schneide der Lehre in der oberen Kante der Marke des Flammenmessers scharf abgebildet werden.

Die neben dem Dochtrohre befindlichen Löcher dürfen nicht verstopft sein.

Mit der Messung soll frühestens 10 Minuten nach dem Anzünden begonnen werden. Die Temperatur des Beobachtungsraumes soll zwischen 15 und 20⁰ liegen.

Während der Messung. Die Lampe soll sich während der Messung auf einem horizontalen Tischchen an einem erschütterungsfreien Platze und in reiner zugfreier Luft befinden. Verunreinigung der Luft, namentlich durch Kohlensäure (durch Brennen von offenen Flammen, Athmen mehrerer Personen), verringert die Leuchtkraft der Hefnerlampe erheblich. Der Photometerraum muß daher vor jeder Messung sorgfältig gelüftet werden. In sehr kleinen Räumen, z. B. ringsum geschlossenen photometrischen Apparaten, darf die Hefnerlampe nicht benutzt werden. Zugluft beeinträchtigt in hohem Grade das ruhige Brennen der Flamme und macht ein hinreichend genaues Einstellen der richtigen Flammenhöhe unmöglich.

Als Lichtmaß dient die Leuchtkraft der Hefnerlampe in horizontaler Richtung bei einer Flammenhöhe von 40 mm, vom oberen Rande des Dochtrohres aus gemessen (Hefnerlicht). Die letztere wird mit Hülfe der beigegebenen Flammenmesser eingestellt, und zwar gilt bei Benutzung des Hefner'schen Visirs folgende von Herrn v. Hefner-Alteneck gegebene Vorschrift:

Der helle Kern der Lampe soll, wenn man durch die Flamme hindurch nach dem Visir blickt, von unten scheinbar an das Visir anspielen. Das schwach leuchtende Ende der Flammenspitze fällt dann nahezu mit der Dicke des Visirs zusammen; erst bei scharfem Zusehen erscheint noch ein Schimmer von Licht bis ungefähr 0,5 mm über dem Visir. Die von der Flamme beschienenen Kanten des Visirs sind stets blank zu halten.

Bei dem Krüß'schen Flammenmesser wird der äußere Saum der Flamme durch die matte Scheibe absorbirt; demgemäß hat man bei Benutzung desselben die Flammenhöhe so zu reguliren, daß die äußerste sichtbare Spitze des Flammenbildes die Marke auf der matten Scheibe berührt. Dabei hat der Beobachter auf die matte Scheibe in möglichst senkrechter Richtung zu blicken.

Die Einstellung der richtigen Flammenhöhe muß mit großer Sorgfalt ausgeführt werden. Man beachte, daß hier ein Fehler von 1 mm eine Abweichung von etwa 3 Proc. in der Lichtstärke hervorbringt.

Es ist darauf zu achten, daß die von der Flamme beschienenen Theile der Lampe (außer dem Dochtrohr), insbesondere der Flammenmesser, gut matt geschwärzt sind. Scheint dies nicht in genügendem Maße der Fall zu sein, so thut man gut, zwischen der Flamme und dem Photometerschirme nahe der Lampe einen mit Ausschnitt versehenen schwarzen Schirm anzubringen, der die Reflexe abblendet. Man hat indessen dabei Sorge zu tragen, daß nicht gleichzeitig Theile der Flamme abgeblendet werden.

Nach der Messung. Während des Brennens bildet sich am Rande des Dochtrohres ein brauner, dickflüssiger Rückstand. Derselbe ist möglichst oft, jedenfalls stets nach Benutzung der Lampe, so lange dieselbe noch heiß ist, durch Abwischen zu entfernen. Soll die Lampe für längere Zeit nicht wieder benutzt werden, so ist das Amylacetat sowie der Docht daraus zu entfernen und die Lampe gründlich zu säubern. Ist es dabei nöthig, das Dochtrohr herauszunehmen, so soll dies unter Zuhülfenahme des oberen Theiles der Lehre geschehen (vergl. Zeitschr. f. Instrumentenk. 1893, 156).

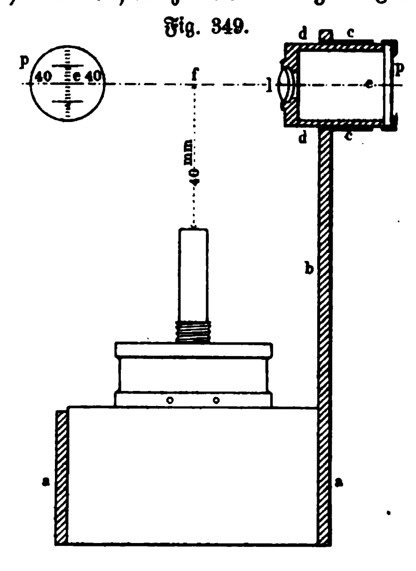
Bei der Amylacetlampe von v. Hefner-Alteneck braucht man nach E. Liebenthal[1]) bei den Abmessungen des Dochtröhrchens nicht besonders ängstlich zu sein.

Das optische Flammenmaß für die Amylacetatlampe von H. Krüß[2]) erleichtert die genaue Einstellung der Flammenhöhe. Ein an

[1]) Journ. f. Gasbel. 1887, 814. — [2]) Ebend. 1887, 816.

einer Seite aufgeschnittenes und dadurch etwas federndes Rohr *a* (Fig. 349) wird über den unteren Theil der Lampe geschoben. An der einen Seite trägt es eine Verlängerung *b* von der Breite des Buhe'schen Schirmes, welche auch hier als Schirm zur Abblendung der Flamme dient. In dem oberen Ende dieses Schirmes ist ein kurzes Rohr *c* befestigt, in welchem sich ein zweites Rohr *d* schiebt. An dem vorderen Ende ist eine achromatische Linse *l* angebracht, an dem hinteren eine matte Glasplatte *p* mit einer Millimetertheilung. Der mittlere Strich dieser Theilung liegt in der optischen Achse *ef* dieser Linse, und außerdem hat diese Achse einen Abstand von 40 mm über dem obersten Rande des Dochtröhrchens der Lampe. Das Rohr *d* wird in dem äußeren Rohre *c* so verschoben, daß das Bild *e* der Flammenspitze *f* scharf auf der matten Glasplatte *p* eingestellt ist; in dieser Stellung können die beiden Rohre durch eine Schraube gegen einander befestigt werden. Die Flammenhöhe wird dann so geregelt, daß die Spitze des Flammenbildes gerade den 40. Strich der Theilung berührt.

Fig. 349.



Liebenthal[1]), Schiele[2]) u. A. empfehlen das Hefnerlicht.

Der Einfluß der Kohlensäure auf eine Lichtflamme ist nach Broohmann[3]) von Nebenumständen abhängig. Die Abhängigkeit des Hefnerlichtes von der Beschaffenheit der atmosphärischen Luft untersuchte Liebenthal[4]). Für den Einfluß der Feuchtigkeit giebt er folgende Tabelle:

Relative Feuchtigkeit in Proc.	Temperatur des Beobachtungsraumes					
	16°	18°	20°	22°	24°	26°
10	1,040	1,038	1,037	1,035	1,033	1,031
20	1,030	1,027	1,024	1,020	1,017	1,012
30	1,019	1,015	1,011	1,006	1,000	0,994
40	1,009	1,004	0,998	0,991	0,983	0,975
50	0,999	0,992	0,984	0,976	0,966	0,956
60	0,989	0,980	0,971	0,961	0,950	0,937
70	0,979	0,969	0,958	0,946	0,933	0,918
80	0,968	0,957	0,945	0,932	0,916	0,900
90	0,958	0,946	0,932	0,917	0,900	0,881

1) Fischer's Jahresber. 1888, 25. — 2) Ebend. 1891, 109. — 3) Ebend. 1887, 35. — 4) Elektrotechn. Ztschr. 1895, 79.

Zur Erläuterung dieser Tabelle möge folgendes Beispiel dienen:

Die Temperatur des Beobachtungsraumes betrage 20°;
das benutzte Haarhygrometer zeige 77 Proc. an, und
das bei dieser Feuchtigkeit beobachtete Lichtstärkenverhältniß zwischen der zu prüfenden Lichtquelle und der Hefnerlampe betrage 18.

Alsdann ist:

die wirkliche relative Feuchtigkeit 77 — 17 = 60 Proc.;
mithin nach dieser Tabelle die Lichtstärke der Hefnerlampe gleich 0,971 Hefnerlicht;
folglich die Lichtstärke der zu prüfenden Lampe 18 × 0,971 = 17,5 Hefnerlicht.

Luftdruck und Kohlensäure bleiben in einem gut gelüfteten Photometerzimmer ohne nennenswerthen Einfluß [1]).

Auf die Pentanlampe von Harcourt (D. R.-P. Nr. 46749) [2]) sei verwiesen.

Die Platinlichteinheit (vergl. S. 338) stellen Pickering und Croß [3]) durch Schmelzen eines Platindrahtes her. Liebenthal [4]) empfiehlt die Vorrichtung von Siemens (S. 341). Hefner v. Alteneck [5]) hält das Violle'sche Platinlicht (S. 338) für nicht geeignet.

Das Bunsen'sche Photometer [6]) wird von Krüß [7]), Nebel [8]) und Liebenthal [9]) besprochen.

Beim Bunsen'schen Photometer kann nach L. Weber [10]) die Einstellung des Schirmes an drei Punkten der Photometerbank erfolgen; an zweien (L und R) tritt ein Verschwinden des Fleckes ein, auf dem dritten Punkte (M) zeigen beide Seiten des Schirmes den Fleck in gleichem Helligkeitsunterschiede gegen seine Umgebung. Danach ergeben sich folgende drei Messungsarten: 1. Man stellt auf einen der Punkte L oder R ein, z. B. auf L, und macht einen zweiten Versuch, bei welchem die vorher links befindliche Lichtquelle J durch eine zweite mit ihr zu vergleichende J_1 ersetzt wird. Dieses Substitutionsverfahren erfordert demnach eine constante, rechts aufgestellte Hülfs- oder Vergleichslichtquelle und gibt die Beziehung zwischen J und J_1 mittelst zweier Einstellungen L. 2. Man macht beide Einstellungen L und R und findet hieraus die Beziehung zwischen der links aufgestellten Lichtquelle J und der rechts aufgestellten J_1. Hierzu sind also gleichfalls zwei Einstellungen erforderlich. 3. Man stellt auf den Punkt M ein und findet durch diese eine Einstellung die Beziehung zwischen J und J_1. Von diesen drei Methoden ist die erstgenannte die vorzugsweise von Bunsen selbst angewandte und selbstverständlich einwurfsfreie. Weber hat mit acht verschiedenen Schirmen Versuche ausgeführt und kommt zu folgenden Schlußfolgerungen: 1. Bei Be-

---

[1]) Fischer's Jahresber. 1895, 83. — [2]) Ebend. 1889, 73. — [3]) Ebend. 1887, 73. — [4]) Ebend. 1888, 27. — [5]) Ebend. 1886, 379. — [6]) Ebend. 1887, 38; 1890, 149. — [7]) Ebend. 1887, 42. — [8]) Ebend. 1889, 74. — [9]) J. f. Gasbel. 1889, 78. — [10]) Ebend. 1887, 45.

nutzung des Bunsen'schen Photometers muß, mit Ausnahme der auf Substitution beruhenden Beobachtungsmethoden, eine Vertauschung der Schirmseiten (bezw. dafür Vertauschung der verglichenen Flammen oder Umkehr des Photometergehäuses) vorgenommen werden, falls nicht beide Schirmseiten genau gleich beschaffen sind. Letzteres ist in der Regel bei den in der Praxis angewandten Schirmsorten nicht der Fall. 2. Durch directe Bestimmung ist der Reflexions- und Transmissionscoëfficient des Bunsen'schen Photometers zu ermitteln. Die reciproken Werthe der letzteren übersteigen bei den gebräuchlichen Schirmsorten den theoretisch möglichen kleinsten Werth um das Zwei- bis Vierfache. Dieselben scheinen einer beträchtlichen Reduction fähig zu sein[1]).

Vergleichskörper für Lichtmessungen von Elster (D. R.-P. Nr. 42962)[2]).

Lummer u. Brodhun[3]) ersetzen den Photometerfleck durch eine rein optische Vorrichtung.

Zur Lichtmessung setzen J. Elster und H. Geitel (D. R.-P. Nr. 66969 und 72776) zwischen Flamme und Normalkerze eine lichtelektrische Vacuumzelle. Die Lichtstärke soll sich dann aus der zu messenden Stromstärke ergeben.

Für Photometer schlägt W. Grosse[4]) eine neue Combination Dove'scher Prismen vor.

Das Compensationsphotometer von Krüß (S. 345) bietet nach K. Strecker[5]) bei der Vergleichung sehr ungleich starker und ungleich gefärbter Lichtquellen wesentliche Erleichterungen. Die beiden Lichtquellen stehen zu beiden Seiten des Bunsen'schen Fettfleckschirmes. Der Spiegel ist in der Entfernung von dem Schirme und unter einem Winkel zur Photometerbank gestellt, um so einen Theil des Lichtes des Bogenlichtes u. dergl. auf die Seite des Schirmes zu werfen, welche z. B. von der Erdöllampe beleuchtet wird.

Das Polarisationsphotometer für technische Zwecke von H. Wild[6]) läßt sich auf einer geraden Photometerbank M-N benutzen. In dem Kasten $ABCDE$ (Fig. 350) sind an den vier Ecken des Rhombus $abdc$ (dessen Winkel bei b und $c = 66^0 30'$) angebracht: 1. bei a, den Winkel a halbirend, der Photometerschirm J, der aus zwei mattweißen Cartonpapieren mit zwischengelegtem Stanniolblatt besteht; 2. zu ihm parallel bei b und c zwei belegte Glasspiegel L und R; 3. gleichfalls parallel zu J bei d eine aus 10 je 0,5 mm dicken, nahe planparallelen Platten bestehende Glassäule K. In der Richtung bd liegt bei P das Polariskop mit seinem Fernrohr. Mitten steht ein Blendschirm G. Durch die Oeffnungen bei F und H fällt das

---

[1]) Fischer's Jahresber. 1889, 76. — [2]) Zeitschr. f. angew. Chem. 1888, 270. — [3]) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1889, 23; Fischer's Jahresber. 1889, 77; Journ. f. Gasbel. 1894, 61. — [4]) Zeitschr. f. Instrumentenk. 1887, 120; 1888, 347; Fischer's Jahresber. 1888, 30. — [5]) Elektrotechn. Zeitschr. 1887, 305; Fischer's Jahresber. 1887, 52. — [6]) Ztschr. f. Instrumentenk. 1889, 180.

Licht auf den Photometerschirm J. Bei der Messung verschiebt man den Apparat auf der Bank, bis die Interferenzstreifen verschwinden, dreht dann den Kasten um 180° und stellt von Neuem auf Verschwinden der Streifen ein (vergl. S. 354).

Zum Messen lothrechter Lichtstrahlen empfiehlt Krüß[1]) die Verwendung eines fest an einer wagerechten Achse A (Fig. 351) unter einem Winkel von

Fig. 350.

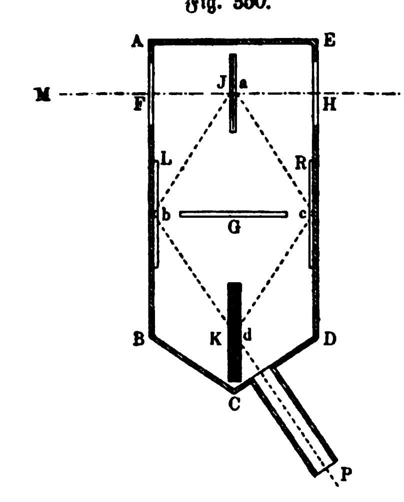
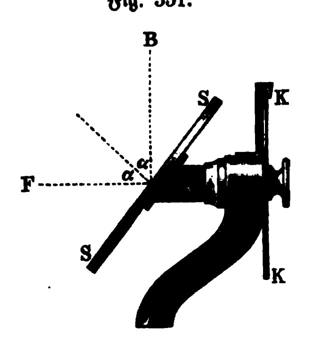


Fig. 351.



45° befestigten Spiegels S, welcher sich in der optischen Achse des Photometers befindet. Die reflectirten Strahlen AF werden also den Spiegel stets unter einem Winkel von 45° verlassen. Wird somit der Spiegel S um die Achse A gedreht, so bleibt der reflectirte Strahl fest, während der einfallende Strahl sich um denselben Winkel wie die Achse A drehen muß. Bei der gezeichneten Stellung kommen von der Lampe B diejenigen Strahlen zur Wirkung, welche senkrecht nach unten fallen, während bei Drehung der Achse um 90° die Lampe in derselben wagerechten Ebene mit der Photometerachse hängen muß, wobei diejenigen Strahlen gemessen werden, welche von der Lampe in wagerechter Richtung ausgestrahlt werden. In den Zwischenstellungen kommen alle Strahlen zwischen 0 und 90° zur Wirkung, ihre Neigung zur Horizontalen kann an einem mit der Achse A verbundenen Theilkreise K abgelesen werden. Für den Reflexionswinkel 45° muß sich die Lampe stets in einer Ebene befinden, welche die Photometerachse in dem Punkte A senkrecht schneidet (vergl. S. 356).

Zum Photometriren von Bogenlicht empfiehlt Krüß[2]) die Vorrichtung von Rousseau[3]). Wedding[4]) vergleicht die Lichtvertheilung beim Bogenlicht[5]) und Gasglühlicht (vergl. S. 358). Photometriren von Glühlampen[6]).

---

[1]) Gastechniker 1887, 242. — [2]) Elektr. Zeitschr. 1887, 356. — [3]) Fischer's Jahresber. 1887, 55. — [4]) Ebend. 1893, 163. — [5]) Elektr. Zeitschr. 1893, 310. — [6]) Fischer's Jahresber. 1886, 377; 1887, 56 u. 60; — Lichtmessung von Erdöllampen: Fischer's Jahresber. 1887, 58; — Lichtmessung von Gasflammen: Fischer's Jahresber. 1887, 58; — Magnesiumlicht: Fischer's Jahresber. 1887, 61.

Auf die theoretischen Erörterungen über Lichtmessung von Le Roux[1]), H. Krüß[2]), Strecker[3]), Wybauw[4]), Nichols[5]) und Blondel[6]) möge verwiesen werden.

Nach L. Weber[7]) ist als Einheit für Flächenhelligkeit die Helligkeit derjenigen selbstleuchtenden Fläche anzuwenden, von welcher 1 qcm in senkrechter Richtung die gleiche Lichtmenge ausstrahlt, wie die Amylacetatkerze. — Es wurde ferner die Siemens'sche Platinlampe Nr. 3 durch den Strom einer Bunsen'schen Batterie von 12 Elementen zum Glühen gebracht. Die Lampe lag im Nebenschlusse eines Widerstandes, der aus einem mit Quecksilber gefüllten Gummischlauche bestand und bei Ausdehnung des Schlauches ununterbrochen wuchs. Hierdurch konnte der Augenblick des Zerschmelzens des Platinbandes unter so allmählicher Steigerung der Lichtstärke herbeigeführt werden, daß eine sichere Einstellung des auf die Platinlampe gerichteten Milchglasplatten-Photometers möglich war. Diese Bestimmungen ergaben bei wiederholten Versuchen recht gut übereinstimmende Werthe, und zwar wurde sowohl mit Vorschaltung eines rothen als auch eines grünen Glases beobachtet. Die Constanten des Photometers waren auf Walrathkerzen bezogen. Später sind alsdann die Walrathkerzen mit der Amylacetatlampe (A. K.) verglichen. Für rothes Licht ($\lambda = 640$) kam im Mittel heraus: 1 Platineinheit (P. E.) = 15,75 A. K.; für grünes Licht ($\lambda = 541$) 1 P. E. = 20,4 A. K., hierbei war das Verhältniß von Walrathkerze (Sp. C.) zu A. K. zu 1,12 gefunden. — Zum Vergleich hiermit seien die theils von Violle, theils von Liebenthal herrührenden entsprechenden Messungen zusammengestellt, aus denen sich das Verhältniß $n = \frac{P.E}{A.K}$ berechnet.

	$\frac{P.E.}{Sp.C.}$	$\frac{Sp.C.}{A.K.}$	$\frac{P.E.}{A.K.}$
Roth . . . . Grün	(Breslau) {14,12 {18,28	Breslau 1,12	15,75 20,40
Roth . . . . Grün	(Breslau) {14,12 {18,28	Liebenthal 1,17	16,52 21,38
Weißes Licht	Violle 18,5	Breslau 1,12	20,7
Weißes Licht	Violle 18,5	Liebenthal 1,17	21,6

Das Verhältniß der aus der Platineinheit und der A. K. abgeleiteten Einheiten für Flächenhelligkeit ist in der folgenden Tabelle für rothes und grünes Licht getrennt dargestellt. Darin bedeutet:

[1]) Journ. du gaz. 1886, 180. — [2]) Fischer's Jahresber. 1887, 39. — [3]) Ebend. 1887, 42. — [4]) Ebend. 1886, 1145. — [5]) Ebend. 1890, 149. — [6]) Compt. rend. 120, 311; Fischer's Jahresber. 1895, 84. — [7]) Journ. f. Gasbel. 1888, 598.

I. Die Helligkeit des erstarrenden Platins.
II. Die Helligkeit der auf 1 qcm Fläche concentrirt gedachten Amylacetatkerze.
III. Die Helligkeit einer absolut weißen und matten Fläche, welche in 1 m Abstand von der Platineinheit beleuchtet wird.
IV. Die Helligkeit einer ebenso von der A. K. beleuchteten Fläche.

Rothes Licht ($\lambda = 630,6$).

	I.	II.	III.	IV.
I.	1	15,75	31416	494800
II.	0,0635	1	1997,8	31416
III.	0,0000318	0,000496	1	15,75
IV.	0,00000202	0,0000318	0,0635	1

Grünes Licht ($\lambda = 541,5$).

	I.	II.	III.	IV.
I.	1	20,40	31416	640884
II.	0,0490	1	1540	31416
III.	0,0000318	0,000649	1	20,4
IV.	0,00000156	0,0000318	0,0490	1

Flächenhelligkeit in Einheiten.

		I.	II.	IV.
1. Sonnenscheibe, außerhalb der Atmosphäre gesehen .	grün	8417	171700	5 394 000 000
	roth	4092	64400	2 025 000 000
2. Himmel in der Nähe der Sonnenscheibe	grün	etwa 1	20,40	640 900
	roth	etwa 1	15,75	494 800
3. Albocarbon-Flachbrenner, von der Schmalseite aus gesehen	grün	etwa 0,509	10,4	326 200
	roth	etwa 0,615	9,7	304 500
4. Weißer Carton, an hellem Sommertage in horizontaler Lage von der gesammten Himmelshemisphäre beschienen (Breslau, 12. Juni 1885, 12 Uhr Mittags)	grün	0,295	6,01	189 100
	roth	0,138	2,17	68 310
5. Weißer Carton, bei 60° Sonnenwärme senkrecht von der Sonne beleuchtet	grün	0,144	2,94	92 410
	roth	0,069	1,09	34 200
6. Weiße, von der Sonne beschienene Wolke	grün	0,089	1,81	57 040
	roth	0,021	0,33	10 390
7. Albocarbon-Flachbrenner, von der Breitseite aus gesehen	grün	etwa 0,073	1,50	46 790
	roth	etwa 0,088	1,40	43 680

		I.	II.	IV.
8. Argandbrenner	grün	0,044	0,895	28 150
	roth	0,057	0,895	28 150
9. Klarer Himmel in Sonnenhöhe von 60° unter 90° Azimuthdifferenz	grün	etwa 0,05	1,04	33 000
	roth	etwa 0,008	0,12	3 800
10. Weißer Carton, an dunklem Wintertage von der gesammten Himmelshemisphäre beschienen (Breslau, 23. Decbr. 1884, 12 Uhr Mittags)	grün	0,0030	0,062	1 945
	roth	0,0010	0,016	508
11. Schwarzer Sammet, an hellem Sommertage wie 4. beleuchtet	grün	0,00059	0,012	378
	roth	0,00028	0,0044	137
12. Weißer Carton, auf dem ohne Anstrengung gelesen werden kann	grün	0,000020	0,000318	10
	roth	0,000015	0,000318	10

Nach Cohn[1]) sind zu einer guten Beleuchtung für Arbeitstische 50 Meterkerzen erforderlich.

Die Leistung von Centrallichtquellen berechnet H. Krüß[2]). Berücksichtigt man, daß nach Allard[3]) in Paris auf 1 km Entfernung nur 44 Proc. der aufgestellten Lichtquelle zufolge des Rauches und Staubgehaltes der Luft zur Wirkung gelangt, beschränkt man ferner die Wirksamkeit eines Leuchtthurmes auf einen Kreis von 3000 m Radius und verlangt mit Sebillot am Rande dieses Kreises eine Beleuchtungsstärke von 0,287 Meterkerzen, so daß $0,287 . 3000^2 = 2583000$ Kerzen erforderlich sein würden, so muß die in Folge des Verlustes durch Absorption bei gewöhnlicher Luft nöthige Helligkeit der Centrallichtquelle offenbar sein: $2583000 : (0,44)^3 = 30388000$ Kerzen, denn wenn von dieser Helligkeit 0,915 verloren geht, so bleibt eben die gewünschte Helligkeit von 2583000 Kerzen übrig. — Allard fand ferner, daß im Nebel am 29. Januar 1861 der Absorptionscoëfficient für 1 m Entfernung 0,62 war. Um auch in diesem Falle auf dem Rande des Kreises von 3000 m Radius die Helligkeit von 0,287 Meterkerzen zu erzeugen, müßte die Centrallichtquelle also eine Helligkeit von

$$2583000 : (0,62)^{3000}$$

besitzen, was natürlich unmöglich ist. — Soll nun endlich eine einzige Lichtquelle z. B. für ganz Paris, also für einen Kreis von doppeltem Radius, wie bisher angenommen, dasselbe leisten, so müßte die Helligkeit dieser Centrallichtquelle etwa 235 Millionen Kerzen betragen. Bei nebligem Wetter, bei welchem

[1]) Fischer's Jahresber. 1886, 1144. — [2]) Elektrotechn. Zeitschr. 1887, 319. — [3]) Mém. sur l'intensité et la portée des Phares. Paris 1876.

in 1 m Entfernung von der Lichtquelle nur 0,62 derselben zur Wirkung kommen, würde aber nicht einmal unmittelbar am Fuße des 300 m hohen Thurmes die verlangte Helligkeit von 0,287 Meterkerzen herrschen, denn dazu würde eine Helligkeit der Lichtquelle selbst von 0,287 : (0,62)[300] Kerzen nöthig sein, eine Zahl, welche aus 72 Ziffern besteht.

Fig. 352.



Nachtrag zur Gasanalyse.

Apparat zur Untersuchung von Generatorgas, Wassergas ꝛc., welchen Verfasser früher (S. 239) beschrieb, hat er dahin verbessert[1]), daß die Quecksilberflaschen *F* und *L* (Fig. 352) jetzt in entsprechend ausgeschnittenen Holzstücken *z* hängen, welche durch Blechstreifen *m* mit Gelenk *x* bezw. Bügel *w* verbunden sind und dadurch leicht und sicher an den mit entsprechenden Einkerbungen versehenen Holzstäben *H* in beliebiger Höhe aufgehängt werden können, was die Arbeit wesentlich erleichtert. Um die Verbrennung des mit Sauerstoff gemischten Gases auch mit glühendem Platindraht bewirken zu können, ist das frühere Arbeitsrohr *A* jetzt birnenförmig gestaltet. Durch die Verschraubung geht ein Glasrohr *g* mit zwei isolirten Kupferdrähten, welche oben in dicke Platindrähte mit Oese auslaufen, an welcher die feine Platinspirale befestigt wird. Auf diese Weise kann man den etwa abgeschmolzenen feinen Draht leicht wieder ersetzen. Oben ist das Rohr *g* mit Glasfluß

---

1) Zeitschr. f. angew. Chem. 1890, 592.

verschmolzen, so daß Quecksilber und Reagentien nicht auf die Kupferdrähte einwirken können. Ist das Kühlrohr um das Meßrohr *M* genügend groß, so gelingt es bei einiger Uebung meist, Correctionen wegen Temperatur und Druck zu vermeiden. Wo es nicht auf strenge Genauigkeit ankommt, kann man das Standrohr *D* fortlassen und Meßrohr *M* nebst Flasche *L* mit Wasser füllen, während für *F* und *A* Quecksilber bleibt. Die Arbeit ist dann ungemein einfach; Correctionen fallen ganz fort.

Weitere Mittheilungen über Gasanalyse folgen bei Generatorgas, Wassergas, Mischgas und Leuchtgas.

Alphabetisches Register.

A.

B.

C.

L.

M.

N.

O.

P.

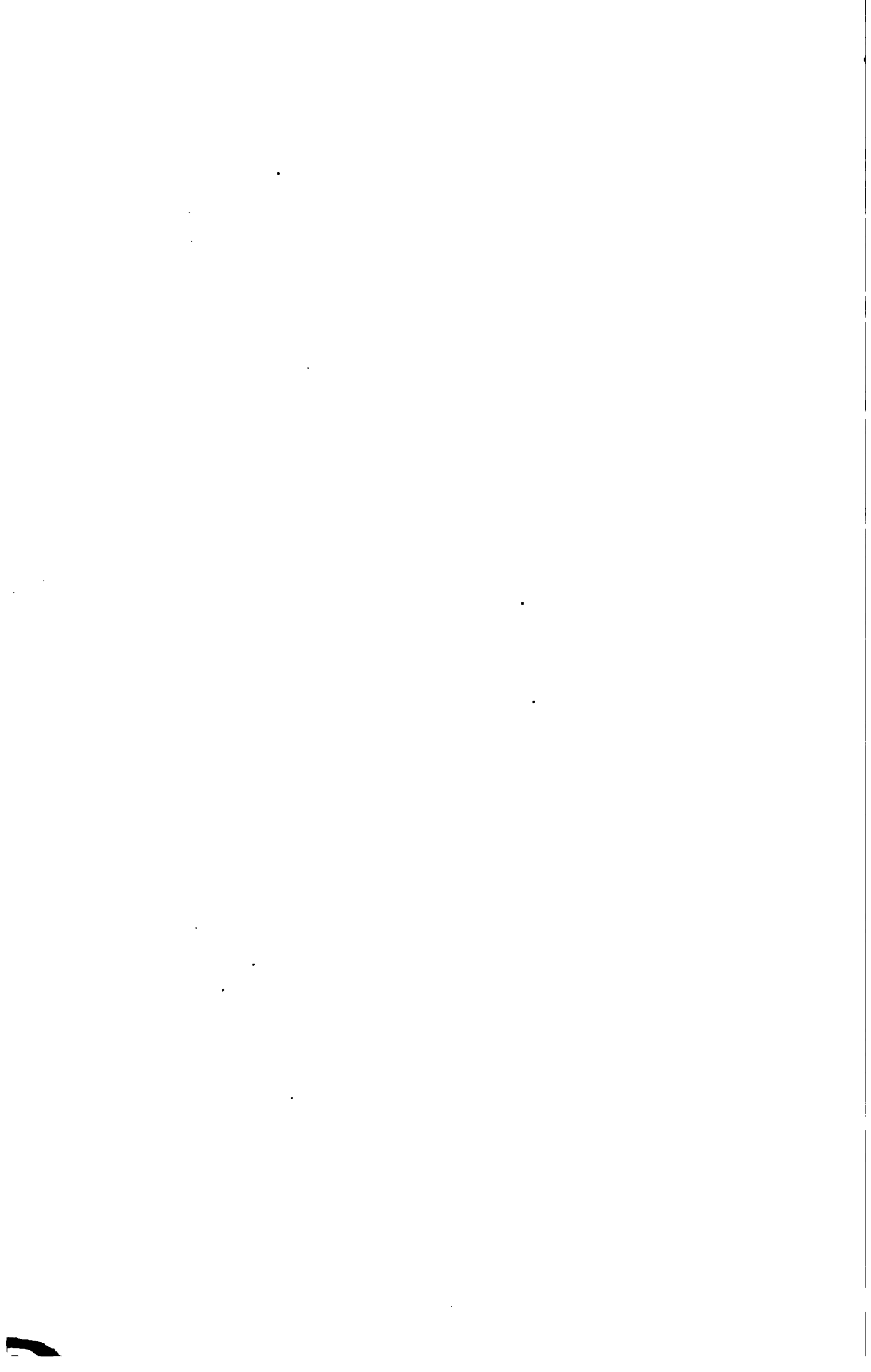
Q.

R.

S.

X.

Z.



Die

chemische Technologie

der

Brennstoffe.

Von

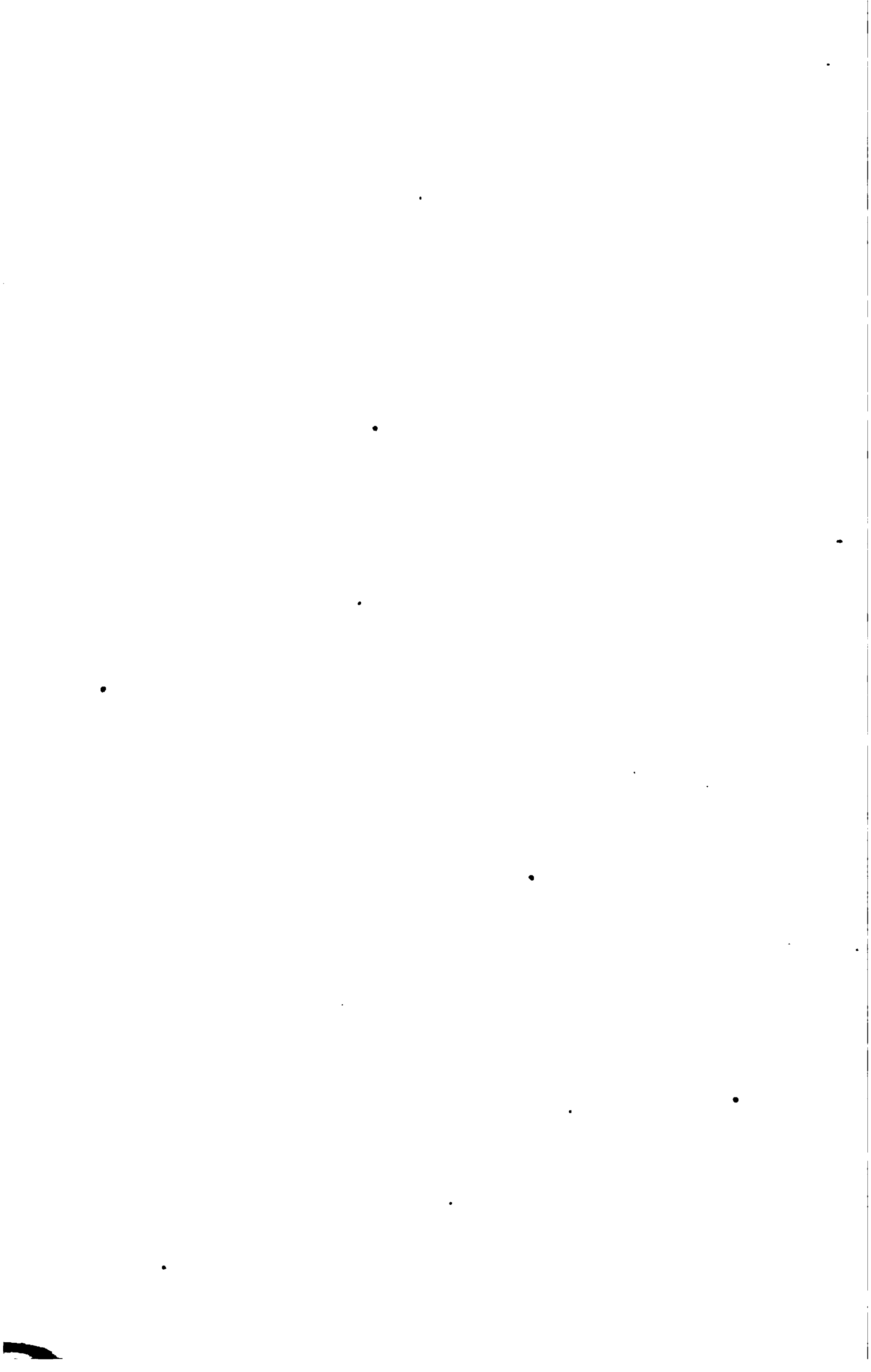
Dr. Ferdinand Fischer
in Hannover.

Mit in den Text eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1880 – 8.

Inhalt.

1. Untersuchungsverfahren.



Handbuch

der

chemischen Technologie.

In Verbindung
mit mehren Gelehrten und Technikern bearbeitet, und herausgegeben von

Dr. P. Bolley,
weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnicum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt
von

Dr. K. Birnbaum,
Hofrath und Professor der Chemie am Polytechnicum in Karlsruhe.

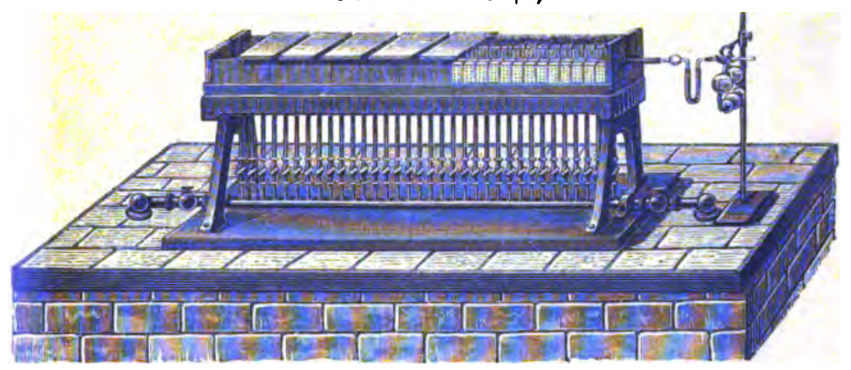
Acht Bände, die meisten in mehre Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie der Brennstoffe.

Von

Dr. Ferdinand Fischer.



Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen.

Erste Lieferung.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1880.

In Folge des ungleichmäßigen Absatzes der einzelnen monographischen Arbeiten, aus denen das unter dem Titel:

„Handbuch der chemischen Technologie“,

begründet von Prof. Dr. P. Bolley, fortgesetzt von Prof. Dr. K. Birnbaum,

erschienene Sammelwerk besteht, ist der Fall eingetreten, daß von einigen derselben neue Auflagen nöthig wurden.

Da nun in Folge des raschen Fortschrittes der Industrie sowohl der Umfang als auch der Preis dieser letzteren ein wesentlich anderer geworden ist, als bei der ersten Auflage, so hat sich die Verlagshandlung genöthigt gesehen, mit diesen in neuer Auflage erschienenen und noch erscheinenden Monographien eine neue Serie zu bilden.

Es sind hiervon jetzt erschienen:

Liefrg. 1. Fleck, Dr. H. „Die Fabrikation chemischer Producte aus thierischen Abfällen“, welches an die Stelle von Bolley, Technologie, Liefrg. 5 tritt.

Liefrg. 2. Benrath, Dr. H. E. „Die Glasfabrikation“, welches an die Stelle von Bolley, Technologie, Liefrg. 6 tritt.

Liefrg. 3. Fischer, Dr. Ferdinand. „Die chemische Technologie des Wassers“, welches an die Stelle von Bolley, Technologie, Liefrg. 1 tritt.

In der ersten Serie sollen die begonnenen aber noch nicht vollendeten Arbeiten, nämlich:

Ersten Bandes dritte Gruppe: „Die chemische Technologie der Brennstoffe.“ Heizung, Ventilation und Beleuchtung.

Zweiten Bandes erste Gruppe: „Die Technologie der chemischen Producte, welche durch Großbetrieb aus unorganischen Materialien gewonnen werden.“

Fünfter Band: „Chemische Verarbeitung der Pflanzen- und Thierfasern.“

Siebenter Band: „Die Metallurgie.“

weitergeführt und außerdem die noch fehlenden Gruppen, nämlich:

Gruppe 2. (Bd. III.) **Die Fabrikation der Thonwaaren,** Porzellan, Steingut, Töpferei, Ziegelbrennerei u. s. w.

Gruppe 4. (Bd. IV.) Die Conservirung der Speisen und die Technik einiger streng genommen nicht zu den Nahrungsmitteln gehörenden Genußmittel (z. B. Taback) werden der Hauptgegenstand dieser Gruppe sein. Weil sie gewerblich mit der Darstellung von Nahrungsmitteln verbunden sind, werden auch einige andere Industrien hier abzuhandeln sein, z. B. die Fabrikation von Röstgummi, Dextrin u. s. w.

Gruppe 1. (Bd. VI.) **Die chemische Technologie der Baumaterialien** und Wohnungseinrichtungen. Kalk, Cement, Gyps, Stucco, künstliche Steine, Holzconservirung, Bedachungsmittel, Firnisse und Anstrichfarben, Kitte u. s. w.

Gruppe 4. (Bd. VI.) **Lederbereitung, Kautschukwaaren und Guttapercha.**

Gruppe 5. (Bd. VI.) **Die chemische Technik der graphischen Künste,** d. h. Schreib- und Zeichnungsmaterialien, die chemischen Hülfsmittel der Typographie, Lithographie, Galvanoplastik, Photographie, die Malerfarben, die verschiedenen Bindemittel, deren sich die Malerei bedient, Fresco, Enkaustik, Stereochromie u. s. w.,

je nachdem die Verhältnisse es möglich machen, und so weit die betreffenden Capitel in den bisher erschienenen Lieferungen noch nicht bearbeitet sind, angereiht werden.

Die Bearbeitung dieser Gegenstände haben folgende Autoren übernommen:

Band I. Gruppe 3. Chemische Technologie der Brennstoffe. — Prof. Dr. H. Fischer und Dr. F. Fischer in Hannover.

„ II. Gruppe 1. Die Technologie der chemischen Producte, welche durch Großbetrieb aus unorganischen Materialien gewonnen werden:
a. Sodafabrikation. — Prof. Dr. G. Lunge in Zürich (erschienen).
b. Staßfurter Industrie. — Dr. E. Pfeiffer in Jena.

„ IV. Gruppe 4. Conservirung der Nahrungsmittel. — Prof. Dr. Thiel in Darmstadt.

„ V. Verarbeitung der Pflanzen- und Thierfasern. — Prof. Dr. Richard Meyer in Chur.

„ VII. Die Metallurgie. — Prof. Dr. C. Stölzel in München.

„ VIII. Die Metallbearbeitung. — Dr. G. Seelhorst in Nürnberg.

Braunschweig, im Mai 1880.

Friedrich Vieweg und Sohn.

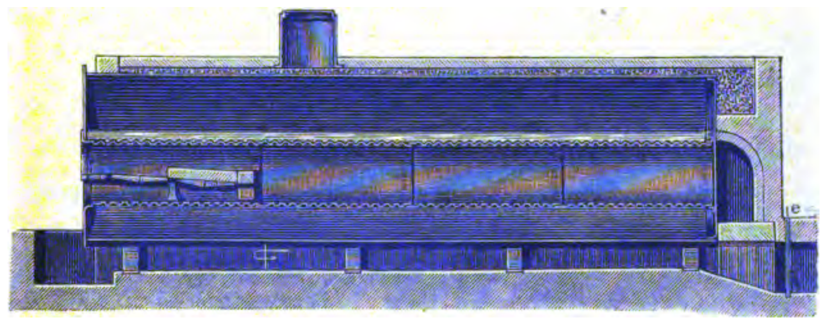
Handbuch
der
chemischen Technologie.

In Verbindung
mit mehreren Gelehrten und Technikern bearbeitet, und herausgegeben von

Dr. P. A. Bolley,
weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnikum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt von

Dr. K. Birnbaum,
weil. Hofrath und Professor der Chemie an der technischen Hochschule in Karlsruhe.



Acht Bände, die meisten in mehrere Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie der Brennstoffe.

Von

Dr. Ferdinand Fischer
in Hannover.

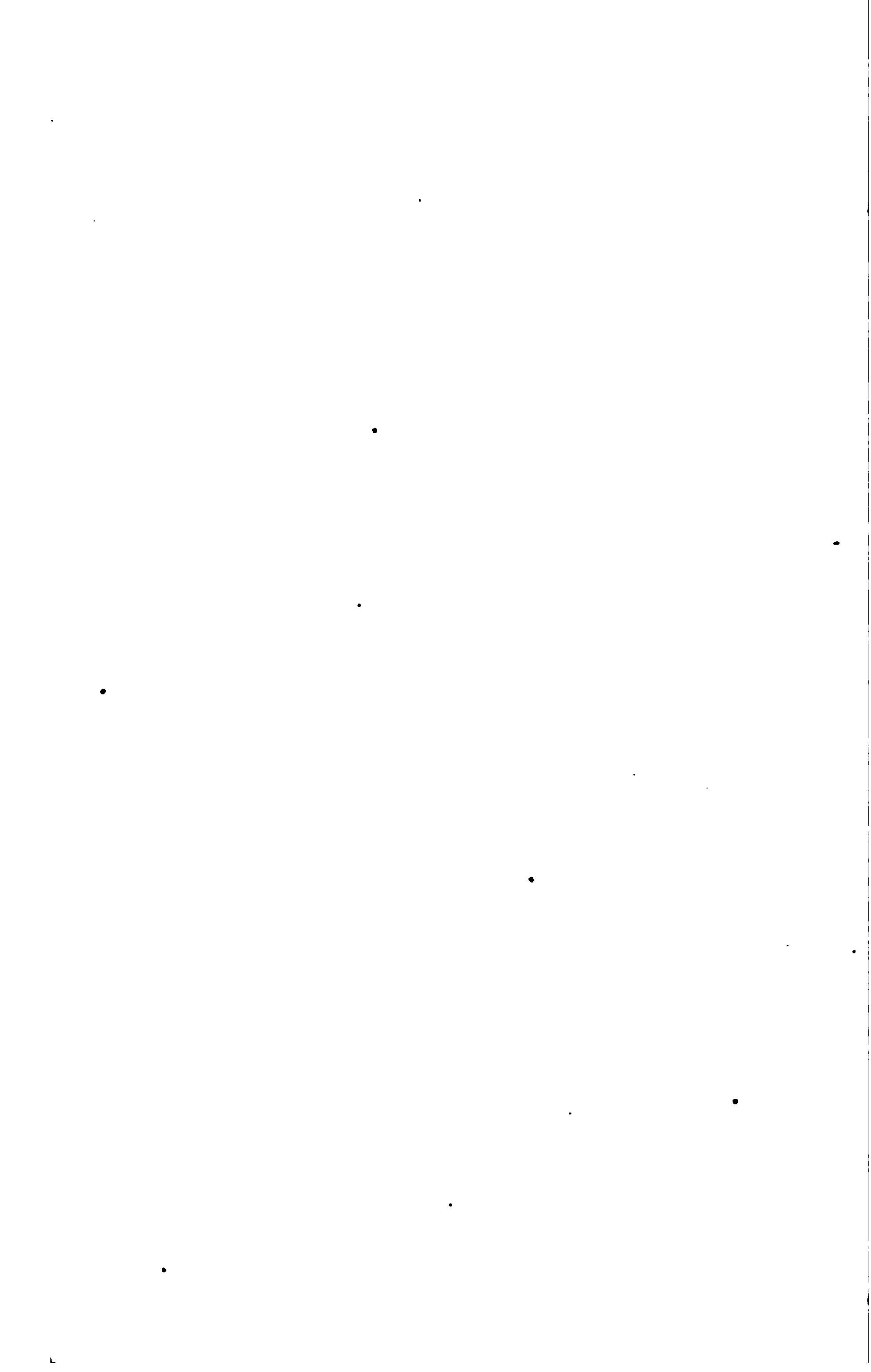
Mit zahlreichen eingedruckten Holzstichen.

Zweite Lieferung.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1887.

Inhalt.

1. Untersuchungsverfahren.



Handbuch

der

chemischen Technologie.

In Verbindung
mit mehren Gelehrten und Technikern bearbeitet, und herausgegeben von

Dr. P. Bolley,
weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnicum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt
von

Dr. K. Birnbaum,
Hofrath und Professor der Chemie am Polytechnicum in Karlsruhe.

I. 3

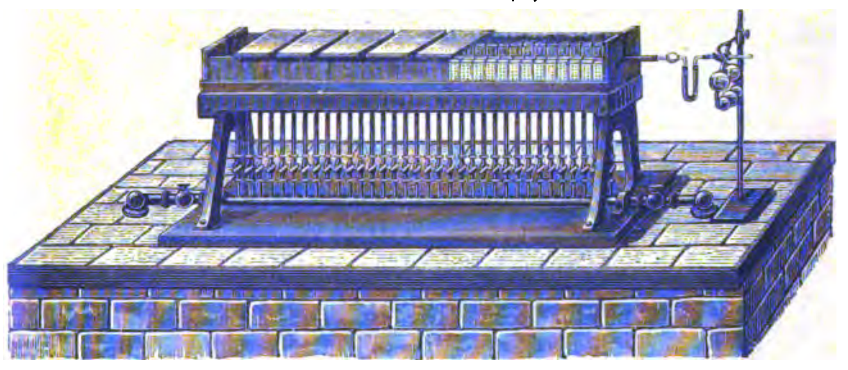
Acht Bände, die meisten in mehre Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie der Brennstoffe.

Von

Dr. Ferdinand Fischer.



Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen.

Erste Lieferung.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1880.

In Folge des ungleichmäßigen Absatzes der einzelnen monographischen Arbeiten, aus denen das unter dem Titel:

„Handbuch der chemischen Technologie",

begründet von Prof. Dr. P. Bolley, fortgesetzt von Prof. Dr. K. Birnbaum,

erschienene Sammelwerk besteht, ist der Fall eingetreten, daß von einigen derselben neue Auflagen nöthig wurden.

Da nun in Folge des raschen Fortschrittes der Industrie sowohl der Umfang als auch der Preis dieser letzteren ein wesentlich anderer geworden ist, als bei der ersten Auflage, so hat sich die Verlagshandlung genöthigt gesehen, mit diesen in neuer Auflage erschienenen und noch erscheinenden Monographien eine neue Serie zu bilden.

Es sind hiervon jetzt erschienen:

Liefrg. 1. Fleck, Dr. H. „Die Fabrikation chemischer Producte aus thierischen Abfällen", welches an die Stelle von Bolley, Technologie, Liefrg. 5 tritt.

Liefrg. 2. Benrath, Dr. H. E. „Die Glasfabrikation", welches an die Stelle von Bolley, Technologie, Liefrg. 6 tritt.

Liefrg. 3. Fischer, Dr. Ferdinand. „Die chemische Technologie des Wassers", welches an die Stelle von Bolley, Technologie, Liefrg. 1 tritt.

In der ersten Serie sollen die begonnenen aber noch nicht vollendeten Arbeiten, nämlich:

Ersten Bandes dritte Gruppe: „Die chemische Technologie der Brennstoffe." Heizung, Ventilation und Beleuchtung.

Zweiten Bandes erste Gruppe: „Die Technologie der chemischen Producte, welche durch Großbetrieb aus unorganischen Materialien gewonnen werden."

Fünfter Band: „Chemische Verarbeitung der Pflanzen- und Thierfasern."

Siebenter Band: „Die Metallurgie."

weitergeführt und außerdem die noch fehlenden Gruppen, nämlich:

Gruppe 2. (Bd. III.) **Die Fabrikation der Thonwaaren,** Porzellan, Steingut, Töpferei, Ziegelbrennerei u. s. w.

Gruppe 4. (Bd. IV.) Die Conservirung der Speisen und die Technik einiger streng genommen nicht zu den Nahrungsmitteln gehörenden Genußmittel (z. B. Taback) werden der Hauptgegenstand dieser Gruppe sein. Weil sie gewerblich mit der Darstellung von Nahrungsmitteln verbunden sind, werden auch einige andere Industrien hier abzuhandeln sein, z. B. die Fabrikation von Röstgummi, Dextrin u. s. w.

Gruppe 1. (Bd. VI.) **Die chemische Technologie der Baumaterialien** und Wohnungseinrichtungen. Kalk, Cement, Gyps, Stucco, künstliche Steine, Holzconservirung, Bedachungsmittel, Firnisse und Anstrichfarben, Kitte u. s. w.

Gruppe 4. (Bd. VI.) **Lederbereitung, Kautschukwaaren und Guttapercha.**

Gruppe 5. (Bd. VI.) **Die chemische Technik der graphischen Künste,** d. h. Schreib- und Zeichnungsmaterialien, die chemischen Hülfsmittel der Typographie, Lithographie, Galvanoplastik, Photographie, die Malerfarben, die verschiedenen Bindemittel, deren sich die Malerei bedient, Fresco, Enkaustik, Stereochromie u. s. w.,

je nachdem die Verhältnisse es möglich machen, und so weit die betreffenden Capitel in den bisher erschienenen Lieferungen noch nicht bearbeitet sind, angereiht werden.

Die Bearbeitung dieser Gegenstände haben folgende Autoren übernommen:

Band I. Gruppe 3. Chemische Technologie der Brennstoffe. — Prof. Dr. H. Fischer und Dr. F. Fischer in Hannover.

„ II. Gruppe 1. Die Technologie der chemischen Producte, welche durch Großbetrieb aus unorganischen Materialien gewonnen werden:
a. Sodafabrikation. — Prof. Dr. G. Lunge in Zürich (erschienen).
b. Staßfurter Industrie. — Dr. E. Pfeiffer in Jena.

„ IV. Gruppe 4. Conservirung der Nahrungsmittel. — Prof. Dr. Thiel in Darmstadt.

„ V. Verarbeitung der Pflanzen- und Thierfasern. — Prof. Dr. Richard Meyer in Chur.

„ VII. Die Metallurgie. — Prof. Dr. C. Stölzel in München.

„ VIII. Die Metallbearbeitung. — Dr. G. Seelhorst in Nürnberg.

Braunschweig, im Mai 1880.

Friedrich Vieweg und Sohn.

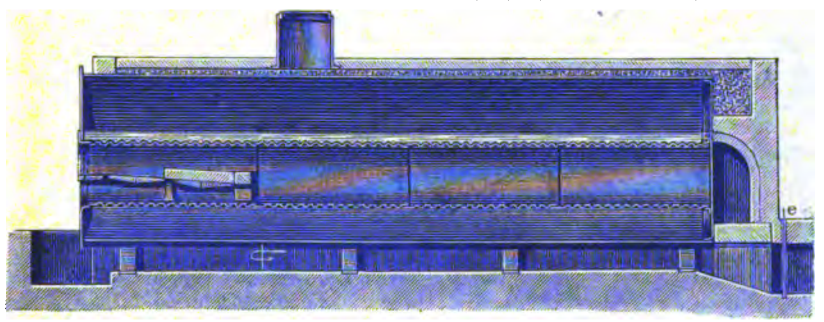
Handbuch
der
chemischen Technologie.

In Verbindung
mit mehreren Gelehrten und Technikern bearbeitet, und herausgegeben von

Dr. P. A. Bolley,
weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnikum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt von

Dr. K. Birnbaum,
weil. Hofrath und Professor der Chemie an der technischen Hochschule in Karlsruhe.



Acht Bände, die meisten in mehrere Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie der Brennstoffe.

Von

Dr. Ferdinand Fischer
in Hannover.

Mit zahlreichen eingedruckten Holzstichen.

Zweite Lieferung.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1887.

Ankündigung.

Dieses Werk hat seit Jahren die Thätigkeit des Herrn Herausgebers, der Herren Mitarbeiter und der Verlagshandlung lebhaft in Anspruch genommen. Es darf dem technischen Publikum nach Plan, Ausführung der Bearbeitung, Ausstattung und Preis empfohlen werden.

Es ist bei dem raschen Vorschreiten der chemischen Technologie ein entschiedenes Bedürfniß geworden, das zerstreute reichhaltige Material, welches die technische Literatur in den letzteren Jahren lieferte, zu sammeln, zu sichten und das Brauchbare übersichtlich zu ordnen. Nur der geringere Theil der Thatsachen, durch welche sich der Umschwung in den Gewerben kund giebt, findet sich ohne Entstellung in technischen Zeitschriften, und was verschwiegen, was zu viel gesagt ist, läßt sich nur durch eigene Beobachtung oder persönliche Beziehung zu kundigen Praktikern herausfinden.

Es stellt sich das vorliegende Werk folgende Aufgaben durch die angegebenen Mittel:

1. Klare und vollständige Darlegung des heutigen Zustandes sämmtlicher auf Chemie gegründeten Gewerbe;
2. Nur durch Theilung des umfangreichen Stoffes unter verschiedene Bearbeiter kann mit Zuversicht der Aufgabe genügt werden, sich der Praxis so nahe als möglich anzuschließen. Sämmtliche Mitarbeiter stehen der Materie der von ihnen übernommenen Abtheilungen des Werkes entweder durch Praxis oder specielle Beobachtung nahe;
3. Das Werk wird in acht Bänden, von denen die Mehrzahl in einzelne Gruppen zerfällt, erscheinen;
4. Diese Gruppen sollen, mindestens die größeren, für sich verkäuflich sein und so dem technischen Publikum das jede einzelne Industrie zunächst interessirende Material thunlichst leicht zugängig gemacht werden;
5. Die rasche Erscheinung ist durch das Zusammenwirken vieler und ausgezeichneter Kräfte gesichert.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Bolley's Technologie. 56. (Bd. I. 3. 3.)

Handbuch

der

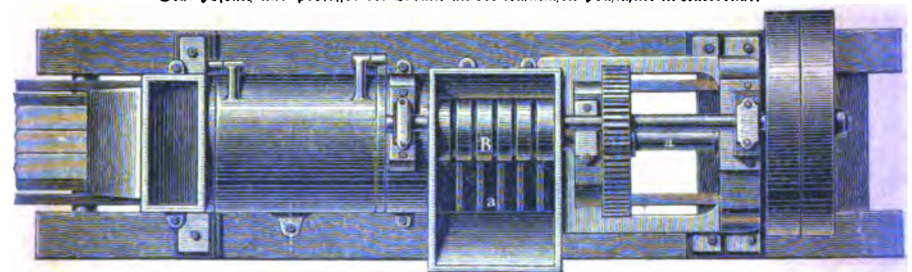
chemischen Technologie.

In Verbindung
mit mehreren Gelehrten und Technikern bearbeitet, und herausgegeben von

Dr. P. A. Bolley und Dr. K. Birnbaum.

Nach dem Tode der Herausgeber fortgesetzt von

Dr. C. Engler,
Geh. Hofrath und Professor der Chemie an der technischen Hochschule in Karlsruhe.



Acht Bände, die meisten in mehrere Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie der Brennstoffe.

Von

Prof. Dr. Ferdinand Fischer
in Göttingen.

Mit zahlreichen eingedruckten Holzstichen.

Dritte Lieferung.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1896.

Ankündigung.

Die unliebsame Verzögerung im Erscheinen der „chemischen Technologie der Brennstoffe“ wurde durch längere Kränklichkeit des Verfassers veranlaßt, welche aber durch seine Uebersiedelung nach Göttingen so weit gehoben ist, daß nunmehr der noch fehlende Theil des Buches rasch erscheinen wird.

Vorliegende Lieferung bringt die hierher gehörenden Angaben über Thermochemie, dann die Besprechung von Holz und Torf als Brennstoff. Von Mineralkohlen wird Vorkommen, Statistik, besonders Kohlenchemie so ausführlich und eingehend besprochen, wie dieses noch in keinem anderen Buche geschehen ist.

Die folgende Lieferung, enthaltend die Herstellung der Preßkohlen und die Kokerei, ist in Arbeit.

Braunschweig, im März 1896.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Bolley's Technologie. 56. (Bd. I. 3. 3.)

(Nachträge und Register.)



Handbuch der chemischen Technologie.

In Verbindung mit mehreren Gelehrten und Technikern bearbeitet, und herausgegeben von

Dr. P. A. Bolley und Dr. K. Birnbaum.

Nach dem Tode der Herausgeber fortgesetzt von

Dr. C. Engler,
Geh. Hofrath und Professor der Chemie an der technischen Hochschule in Karlsruhe.

Acht Bände, die meisten in mehrere Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie der Brennstoffe.

Von

Prof. Dr. Ferdinand Fischer
in Göttingen.

Mit zahlreichen eingedruckten Holzstichen.

Restlieferung zum dritten Heft,
enthaltend
Nachträge und Register.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1897.

Ankündigung.

Die unliebsame Verzögerung im Erscheinen der „chemischen Technologie der Brennstoffe“ wurde durch längere Kränklichkeit des Verfassers veranlaßt, welche aber durch seine Uebersiedelung nach Göttingen so weit gehoben ist, daß nunmehr der noch fehlende Theil des Buches rasch erscheinen wird.

Vorliegende unberechnet erfolgende Lieferung bringt als Nachträge zu den drei ersten Lieferungen die seit dem Druck derselben erschienenen bezüglichen Arbeiten und das Register.

Die folgende Lieferung, enthaltend die Herstellung der Preßkohlen und die Kokerei, ist in Arbeit.

Braunschweig, im April 1897.

Friedrich Vieweg und Sohn.

